

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
CURSO DE AGRONOMIA

ARMESTRONG DAVIS DE FREITAS FILHO

SILÍCIO FOLIAR COMO ESTRATÉGIA COMPLEMENTAR AO USO DE
INSETICIDAS E FUNGICIDAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO DA CULTURA DO
TRIGO

PONTA GROSSA

2026

ARMESTRONG DAVIS DE FREITAS FILHO

SILÍCIO FOLIAR COMO ESTRATÉGIA COMPLEMENTAR AO USO DE
INSETICIDAS E FUNGICIDAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO DA CULTURA DO
TRIGO

Trabalho apresentado à Disciplina OTCC como
requisito parcial para obtenção de Grau de
Engenheiro Agrônomo na Universidade Estadual de
Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Orcial Ceolin Bortolotto

PONTA GROSSA

2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
COLEGIADO DO CURSO DE AGRONOMIA
COORDENAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OTCC - Ano 2026

AVALIAÇÃO DE TCC RELATÓRIO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Monografia: SILICO FOLAR COM ESTRATÉGIA COMPLEMENTAR AO USO DE INSECTICIDAS E FUNGICIDAS NO MANEJO FITOSSANITÁRIO DA CULTIVA DO TUBO
Autor (a): ARMISTONIS DAVIS DE FREITAS FILHO
Data da defesa: 06/05 Horário: 14:25 Local: 4º

Avaliadores:

1-Orientador (a): [Assinatura] Assinatura: [Assinatura]
2-Avaliador (a): Rafaela Regina Moreira Lange Assinatura: [Assinatura]
3-Avaliador (a): Adriely Fereira da Rosa Assinatura: [Assinatura]

Itens a serem avaliados	Notas atribuídas		
	Orientador(a)	1º Avaliador(a)	2º Avaliador(a)
I- Apresentação oral (Até 2,0)	1,7	2,7	1,8
II- Trabalho escrito (Até 6,0)	5,8	5,9	5,7
III- Arguição (Até 2,0)	1,9	1,9	1,8
TOTAL	9,4	9,5	9,3
MÉDIA FINAL *	9,4		

* Orientador(a) nota final com uma casa após a vírgula

Atenção Professor(a) ORIENTADOR(A):
No caso de apresentação de trabalho, em evento técnico-científico, no qual o acadêmico conste como autor, poderá ser acrescentado ATÉ 10% da nota, na somatória final. Apresentar comprovante junto com os documentos entregues para a Coordenação de TCC.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, Nosso Senhor, que me sustenta em todos os momentos da vida, e à Virgem Maria, que intercede por nós a todo instante.

Ao meu pai, que arduamente trabalhou para que eu pudesse me dedicar aos estudos, e à minha mãe, por todo o apoio, incentivo e confiança ao longo desta caminhada.

Aos mestres que fizeram mais do que ensinar: foram exemplo e inspiração para que eu seguisse meus caminhos profissionais.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Orcial Ceolin Bortolotto, pela confiança, pela liberdade de desenvolver atividades em diferentes frentes e pelos ensinamentos que ultrapassam a agronomia e alcançam também a vida.

Aos meus convidados de banca, Prof. Dr. Adriel Ferreira da Fonseca e Profa. Dra. Rafaela Lange, que, conseguiram transmitir não apenas as exigências da formação acadêmica, mas também o amor e a dedicação por suas respectivas áreas.

Por fim, agradeço a todos os colegas e amigos que fizeram parte desta jornada.

“É justo que muito custe o que muito vale.”

— Santa Teresa de Ávila

RESUMO

FREITAS FILHO, A. D. de. **Silício foliar como estratégia complementar ao uso de inseticidas e fungicidas no manejo fitossanitário da cultura do trigo.** Orientador: Prof. Dr. Orcial Ceolin Bortolotto. Ponta Grossa, 2026. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2026.

A cultura do trigo possui grande importância econômica e alimentar, porém, seu desempenho produtivo pode ser comprometido pela ocorrência de doenças foliares e insetos-praga ao longo do ciclo. Entre esses fatores, destacam-se o oídio, causado por *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, e os pulgões, que além do dano direto pela sucção de seiva também podem atuar como vetores de viroses. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do silício associado ao manejo químico de pulgões e oídio na cultura do trigo, buscando verificar sua influência sobre variáveis fitossanitárias e produtivas. O estudo foi conduzido em dois ensaios independentes, ambos em delineamento de blocos ao acaso. No ensaio com pulgões, foram avaliados os tratamentos testemunha, imidacloprido + beta-ciflutrina, imidacloprido + beta-ciflutrina + silício, metomil e metomil + silício. No ensaio com oídio, os tratamentos consistiram em testemunha sem aplicação, fungicida isolado, fungicida associado a uma aplicação de silício, fungicida associado às duas primeiras aplicações de silício, fungicida associado às três primeiras aplicações de silício e fungicida associado às quatro aplicações de silício realizadas no programa de controle. Foram analisados a população de pulgões por planta, a severidade do oídio ao longo do tempo, a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), o peso hectolitro e a produtividade. No ensaio com pulgões, os inseticidas reduziram a infestação em relação à testemunha, e a associação com silício apresentou comportamento complementar, especialmente no tratamento com metomil + silício, que resultou na menor infestação observada. Além disso, mesmo com média inferior ao nível de controle tradicionalmente adotado, a testemunha apresentou menor produtividade, indicando que populações relativamente baixas já podem causar reflexos agrônômicos. No ensaio com oídio, o manejo fungicida foi eficiente em reduzir a severidade da doença e a AACPD.

Palavras-chave: indução de resistência, pragas do trigo, patógenos foliares.

ABSTRACT

FREITAS FILHO, A. D. de. **Foliar silicon as a complementary strategy to the use of insecticides and fungicides in the plant health management of wheat crops.** Advisor: Prof. Dr. Orcial Ceolin Bortolotto. Ponta Grossa, 2026. Undergraduate Thesis – State University of Ponta Grossa, 2026.

Wheat cultivation is of great economic and food security importance; however, its yield potential can be compromised by the occurrence of leaf diseases and insect pests throughout the growing cycle. Among these factors, powdery mildew—caused by *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*—and aphids stand out; in addition to direct damage caused by sap sucking, aphids can also act as vectors for viral diseases. In this context, the present study aimed to evaluate the effect of silicon combined with chemical management of aphids and powdery mildew in wheat cultivation, seeking to verify its influence on phytosanitary and yield-related variables. The study was conducted in two independent trials, both using a randomized block design. In the aphid trial, the following treatments were evaluated: control, imidacloprid + beta-cyfluthrin, imidacloprid + beta-cyfluthrin + silicon, methomyl, and methomyl + silicon. In the powdery mildew trial, the treatments consisted of a control without application, fungicide alone, fungicide combined with one application of silicon, fungicide combined with the first two applications of silicon, fungicide combined with the first three applications of silicon, and fungicide combined with the four applications of silicon carried out in the control program. The aphid population per plant, powdery mildew severity over time, area under the disease progression curve (AACPD), hectoliter weight, and yield were analyzed. In the aphid trial, the insecticides reduced infestation compared to the control, and the combination with silicon exhibited a complementary effect, especially in the methomyl + silicon treatment, which resulted in the lowest infestation observed. Furthermore, even with an average below the traditionally adopted control level, the control group showed lower yield, indicating that relatively low populations can already cause agronomic impacts. In the powdery mildew trial, fungicide management was effective in reducing disease severity and AACPD.

Keywords: resistance induction, wheat pests, leaf pathogens.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Descrição dos tratamentos no ensaio de pulgão no trigo.	36
Tabela 2 –	Descrição dos tratamentos no ensaio de oídio no trigo.	36
Tabela 3 –	Parâmetros avaliados no ensaio de pulgão no trigo.	41
Tabela 4 –	Parâmetros avaliados no ensaio de oídio no trigo.	46

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Estádios de desenvolvimento do trigo conforme a escala de Feekes (1940).	15
Figura 2 –	Evolução do oídio ao longo do ciclo do trigo em materiais com diferentes níveis de suscetibilidade.....	16
Figura 3 –	Ciclo do oídio do trigo, com destaque para produção de conídios, disseminação e reinfeção ao longo do ciclo da cultura.	17
Figura 4 –	Características morfológicas de pulgões (Aphididae).....	18
Figura 5 –	Principais espécies de pulgões associadas à cultura do trigo.....	19
Figura 6 –	Principais espécies de pulgões associadas ao trigo e sua localização na planta.	20
Figura 7 –	Sintomas típicos do Vírus do Nanismo Amarelo da Cevada (VNAC/BYDV) em plantas de trigo.	21
Figura 8 –	Representação esquemática da aquisição e circulação do Vírus do Nanismo Amarelo da Cevada (VNAC/BYDV) no corpo do pulgão. Os hexágonos pretos utilizados para representar as partículas virais ao longo do processo de transmissão.....	21
Figura 9 –	Flutuação populacional de pulgões em trigo ao longo do ciclo da cultura, com incremento populacional a partir do afilhamento e pico entre emborrachamento e grão em massa.	22
Figura 10 –	Indivíduo de pulgão em processo de partenogênese telítoca.	23
Figura 11 –	Formas aladas e ápteras de pulgões, evidenciando diferenças morfológicas relacionadas à dispersão e colonização.	23
Figura 12 –	Fungicidas dos grupos das morfolinas e piperidinas, e seus respectivos compostos representativos, com atuação sobre a biossíntese de ergosterol na membrana celular fúngica.	25
Figura 13 –	Comparação entre tecido foliar de arroz com e sem suprimento de silício, evidenciando redução da intensidade da doença (brusone) na presença do elemento.	29
Figura 14 –	Representação do Limbo foliar de monocotiledônea.	30

Figura 15 –	Modelo esquemático da atuação do silício na resistência de plantas a patógenos, envolvendo reforço estrutural.	31
Figura 16 –	Precipitação pluviométrica mensal acumulada (mm) e temperaturas máxima e mínima médias (°C) registradas durante o período de condução dos ensaios na Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG, Ponta Grossa – PR.	34
Figura 17 –	Aplicação foliar dos tratamentos fitossanitários na cultura do trigo, realizada com pulverizador costal pressurizado por CO ₂ , na área experimental.	37
Figura 18 –	Escala diagramática de severidade de oídio no trigo.	38
Figura 19 –	Colheita das parcelas experimentais de trigo com colhedora de parcelas, utilizada para determinação da produtividade de grãos.	39
Figura 20 –	Equipamento utilizado para determinação do peso hectolitro dos grãos de trigo, modelo Gehaka AGRI G650i.	40
Figura 21 –	Número médio de pulgões por planta em função dos tratamentos na cultura do trigo.	42
Figura 22 –	Relação entre os estádios fenológicos da cultura do trigo e a predominância das espécies de pulgões observadas.	43
Figura 23 –	Produtividade do trigo em função dos tratamentos aplicados no ensaio de pulgões.	44
Figura 24 –	Progresso da severidade do oídio ao longo do tempo, em função dos tratamentos aplicados na cultura do trigo.	45

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	20
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	CULTURA DO TRIGO	14
2.2	OÍDIO NO TRIGO.....	15
2.3	PULGÃO NO TRIGO.....	18
2.4	MANEJO QUÍMICO	24
2.4.1	Fungicidas.....	24
2.4.2	Inseticidas	26
2.5	NUTRIÇÃO E SANIDADE VEGETAL	27
2.6	SILÍCIO	29
3.	OBJETIVOS	33
3.1	OBJETIVO GERAL.....	33
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
4.	MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1	LOCAL DE CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	34
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA E CONDUÇÃO DOS ENSAIOS.....	35
4.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	35
4.3.1	Ensaio de indução de resistência no manejo de pulgões no trigo.....	35
4.3.2	Ensaio de indução de resistência no manejo de oídio no trigo.....	36
4.4	APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS	37
4.5	VARIÁVEIS AVALIADAS	38
4.5.1	População de pulgões	38
4.5.2	Severidade do oídio	38
4.5.3	Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)	39
4.5.4	Produtividade de grãos	39
4.5.5	Peso hectolitro (PH)	40
4.5.6	Análise estatística	40
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1	PULGÃO NO TRIGO	41
5.2	OÍDIO NO TRIGO.....	45

6.	CONCLUSÕES.....	49
7.	REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) está entre os cereais de maior importância no mundo, tanto pelo papel que ocupa na alimentação humana quanto pelo peso econômico que tem em diferentes sistemas de produção. No Brasil, essa importância aparece com mais força na região Sul, onde se concentram as principais áreas produtoras e onde a cultura faz parte, de forma estratégica, dos cultivos de inverno (Silva *et al.*, 1996; Conab, 2025). Além do consumo direto e do uso industrial bastante amplo, o trigo também ganha destaque diante da necessidade de ampliar a produção de alimentos em um cenário de crescimento populacional e maior exigência por eficiência produtiva (Alexandratos; Bruinsma, 2012).

Mesmo sendo uma cultura de grande relevância, o trigo pode ter seu desempenho comprometido por diferentes fatores bióticos, especialmente doenças e insetos-praga que afetam o desenvolvimento da planta, a formação dos grãos e o rendimento final da lavoura (Figuerola *et al.*, 2018). Entre as doenças foliares, o oídio, causado por *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, merece atenção pelo início precoce, pela rápida evolução e pela forte relação com a fenologia da cultura, principalmente em cultivares suscetíveis e sob condições favoráveis de temperatura e umidade relativa do ar (Costamilan *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2025). No caso dos insetos, os pulgões estão entre os principais problemas do trigo, não só pelos danos diretos causados pela sucção de seiva, mas também por atuarem como vetores do Vírus do Nanismo Amarelo da Cevada, o que aumenta sua importância econômica no campo (Salvadori, 2001; Silva; Costa; Balardin, 2004).

Por isso, entender bem a fenologia do trigo é fundamental, já que os diferentes estádios de desenvolvimento interferem na suscetibilidade da planta, na dinâmica de doenças e pragas e também na eficiência das práticas de manejo adotadas (Borém; Scheeren, 2015). Tanto o oídio quanto os pulgões têm comportamento bastante ligado ao avanço do ciclo da cultura, de modo que o momento em que ocorrem e a intensidade com que se estabelecem acabam tendo relação direta com o potencial de dano na lavoura (Linhares; Ignaczak; Picinini, 1988; Mundstock, 1998).

Dentro desse cenário, o manejo químico segue sendo uma das principais ferramentas de proteção fitossanitária do trigo. Fungicidas e inseticidas têm papel central nos programas de controle, sobretudo em sistemas mais intensivos, nos quais a manutenção da área foliar e do potencial produtivo depende de respostas rápidas diante da pressão de agentes bióticos (Ferreira *et al.*, 2023; Ferreira *et al.*, 2024; Ferreira *et al.*, 2025). Ainda assim, o uso isolado dessas ferramentas tem limitações, entre elas a dependência do correto posicionamento das aplicações e o risco de seleção de populações menos sensíveis aos ingredientes ativos, tanto em fungos quanto em insetos (Frac-Brasil; Cruz, 2002).

Ao mesmo tempo, a sanidade vegetal não depende apenas da presença do patógeno ou da praga. A própria condição fisiológica da planta interfere na forma como ela reage ao estresse. Nesse sentido, a nutrição mineral tem papel importante, pois afeta o crescimento, a formação dos tecidos, a composição química da planta e a intensidade de sua resposta diante de condições adversas (Malavolta, 2006; Marschner, 2012). Em geral, plantas em melhor equilíbrio nutricional tendem a tolerar melhor injúrias e a manter seu desenvolvimento, embora isso, por si só, não substitua outras práticas de manejo fitossanitário (Fernandes; Souza; Santos, 2018).

É dentro dessa relação entre nutrição e sanidade que o silício tem chamado cada vez mais atenção. Embora não seja reconhecido de forma universal como nutriente essencial, ele é amplamente descrito como benéfico, especialmente em gramíneas, grupo em que o trigo se enquadra (Ma; Yamaji, 2006). A literatura mostra que sua atuação pode envolver reforço físico dos tecidos, modulação de enzimas e compostos ligados à defesa, além de participação em mecanismos mais complexos, como o *priming*, em que a planta passa a responder de forma mais rápida e eficiente ao ataque de patógenos (Romero; Munévar; Cayón, 2011; Vivancos *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2020). Por isso, o silício tem sido estudado não como substituto do manejo químico, mas como uma ferramenta complementar dentro de estratégias mais integradas e sustentáveis.

Com base nisso, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito do silício associado ao manejo químico de pulgões e oídio na cultura do trigo, buscando entender sua influência sobre variáveis fitossanitárias e produtivas da cultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURA DO TRIGO

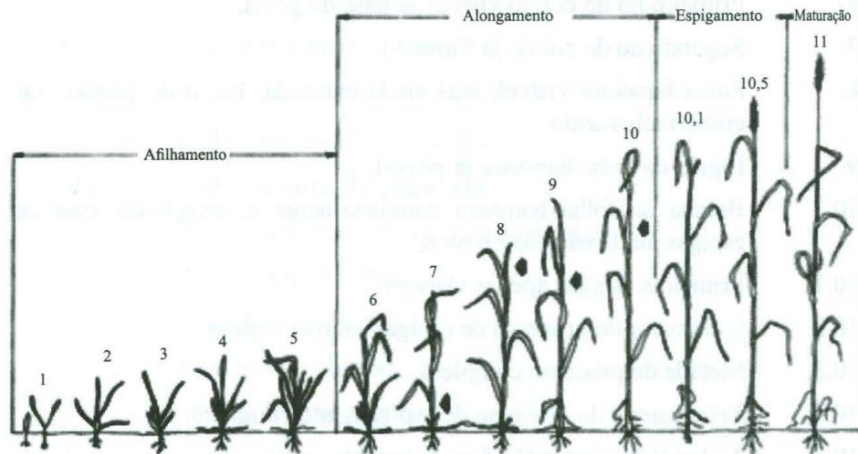
O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das culturas agrícolas de maior importância econômica, social e alimentar no mundo. Domesticado há cerca de 10 mil anos na região do Crescente Fértil, no Oriente Médio, acabou se consolidando, ao longo do tempo, como uma das bases da alimentação humana em diferentes continentes. Sua relevância não está ligada apenas ao amplo consumo, mas também à versatilidade de uso industrial, já que serve de matéria-prima para farinhas, pães, massas, bolos, biscoitos, cervejas, além de aplicações nos setores farmacêutico, cosmético e de alimentação animal (Silva *et al.*, 1996).

No Brasil, o trigo tem papel estratégico por integrar a base da cadeia agroindustrial moageira e por ser um dos principais cereais de inverno da região Sul. A produção nacional se concentra principalmente no Paraná e no Rio Grande do Sul, estados que apresentam condições edafoclimáticas mais favoráveis ao cultivo. Na safra de 2024, o Brasil produziu 7,9 milhões de toneladas do cereal, com estimativa de 8,2 milhões de toneladas para 2025, sendo a região Sul responsável por cerca de 80% da produção nacional (Conab, 2025). Mesmo assim, esse volume ainda não é suficiente para atender totalmente a demanda interna, o que reforça a necessidade de maior produtividade, mais estabilidade de rendimento e menor perda no campo.

Além da importância econômica mais imediata, o trigo também ganha destaque diante das projeções de crescimento da população mundial. Estimativas indicam que a população global deverá ultrapassar 9 bilhões de habitantes nas próximas décadas, o que exigirá aumento da produção de alimentos e maior eficiência dos sistemas agrícolas (Alexandratos; Bruinsma, 2012). Nesse cenário, a cultura do trigo exige tecnologias de manejo que permitam elevar a produtividade sem perder de vista a sustentabilidade, especialmente no que diz respeito à redução de perdas causadas por pragas, doenças e estresses ambientais.

Do ponto de vista agrônomo, a fenologia do trigo é um aspecto central no manejo da cultura, porque os diferentes estádios de desenvolvimento determinam alterações morfofisiológicas importantes da planta, influenciando sua demanda nutricional, sua suscetibilidade a estresses bióticos e a eficiência das práticas de manejo. Em cereais de inverno, escalas fenológicas como a de Feekes são amplamente utilizadas para descrever o desenvolvimento da cultura, desde a emergência e o afilhamento até o alongamento, espigamento e maturação (Figura 1). A correta identificação desses estádios é fundamental para o posicionamento de fungicidas, inseticidas e outras tecnologias de manejo, já que a resposta da planta e a dinâmica de pragas e doenças mudam conforme o avanço do ciclo (Borém, 2015).

Figura 1 – Estádios de desenvolvimento do trigo conforme a escala de Feekes (1940).



Fonte: BORÉM, 2015.

As características morfofisiológicas do trigo também ajudam a entender sua interação com agentes bióticos. Por ser uma gramínea, a cultura apresenta capacidade de absorção e acúmulo de silício superior à observada em muitas espécies dicotiledôneas, o que é especialmente relevante em estudos relacionados à resistência induzida e à tolerância a estresses (Ma; Yamaji, 2006; Epstein, 1999). Ao mesmo tempo, o trigo está sujeito à ocorrência de diversos patógenos e insetos-praga de importância econômica, capazes de comprometer a sanidade do dossel foliar, o enchimento de grãos e o rendimento final da cultura (Figueroa *et al.*, 2018).

Por isso, em uma cultura com tanta importância econômica e alimentar, torna-se essencial compreender os fatores que interferem na sanidade e no desempenho agrônomo da lavoura, principalmente aqueles ligados à ocorrência de pragas e doenças, que podem comprometer diretamente a produtividade e a qualidade dos grãos (Figueroa *et al.*, 2018; Alexandratos; Bruinsma, 2012).

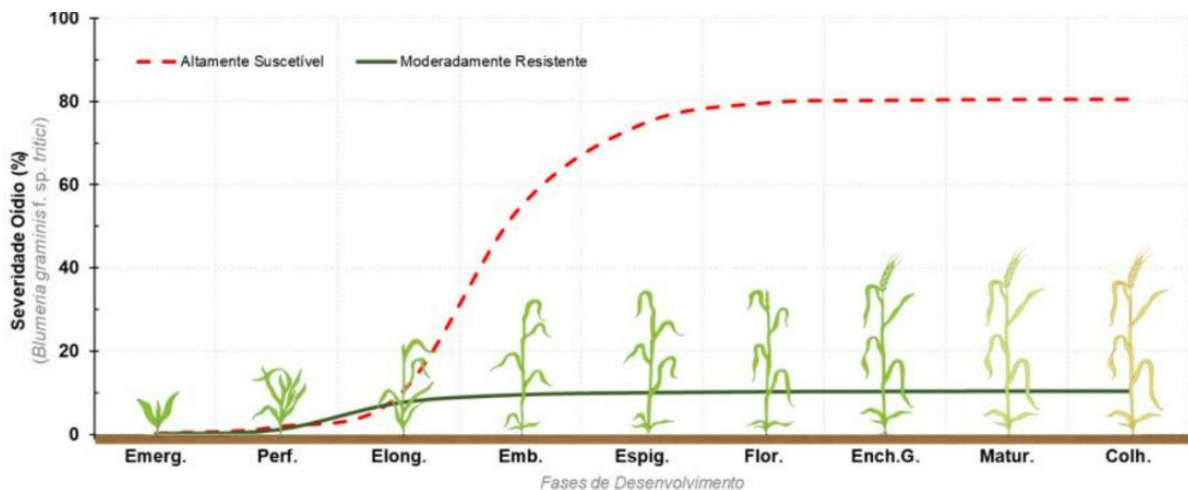
2.2 OÍDIO NO TRIGO

O oídio está entre as doenças foliares mais importantes do trigo e é causado por *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, fungo biotrófico que depende de tecido vivo do hospedeiro para se desenvolver. Por isso, ao contrário de patógenos necrotróficos, que primeiro matam os tecidos para depois colonizá-los, o agente causal do oídio se mantém associado a células vivas da planta, o que favorece sua multiplicação e permanência ao longo do ciclo da cultura (Costamilan *et al.*, 2022).

Do ponto de vista epidemiológico, o oídio tem comportamento policíclico, ou seja, pode realizar vários ciclos de infecção em uma mesma safra. Isso ajuda a entender sua rápida evolução em cultivares suscetíveis, principalmente quando o ambiente favorece a esporulação e a disseminação do fungo. No trigo, a doença é favorecida por temperaturas amenas, em geral entre 15 e 22 °C, associadas a períodos de menor precipitação, sem necessidade de água livre na superfície foliar para que a infecção ocorra (Ferreira *et al.*, 2025; Fundação ABC, 2022).

Em condições de campo, o oídio costuma aparecer cedo na lavoura, ainda nos estádios vegetativos, e pode acompanhar a cultura ao longo do ciclo. De modo geral, a intensificação da doença tende a ficar mais visível a partir do alongamento, principalmente quando há ambiente favorável e maior suscetibilidade do material, alcançando maiores severidades em materiais altamente suscetíveis do que em materiais com algum grau de resistência (Figura 2). Por isso, a fenologia da cultura precisa ser considerada tanto na interpretação epidemiológica da doença quanto no posicionamento das medidas de manejo (Fundação ABC, 2022; Costamilan *et al.*, 2022).

Figura 2 – Evolução do oídio ao longo do ciclo do trigo em materiais com diferentes níveis de suscetibilidade.



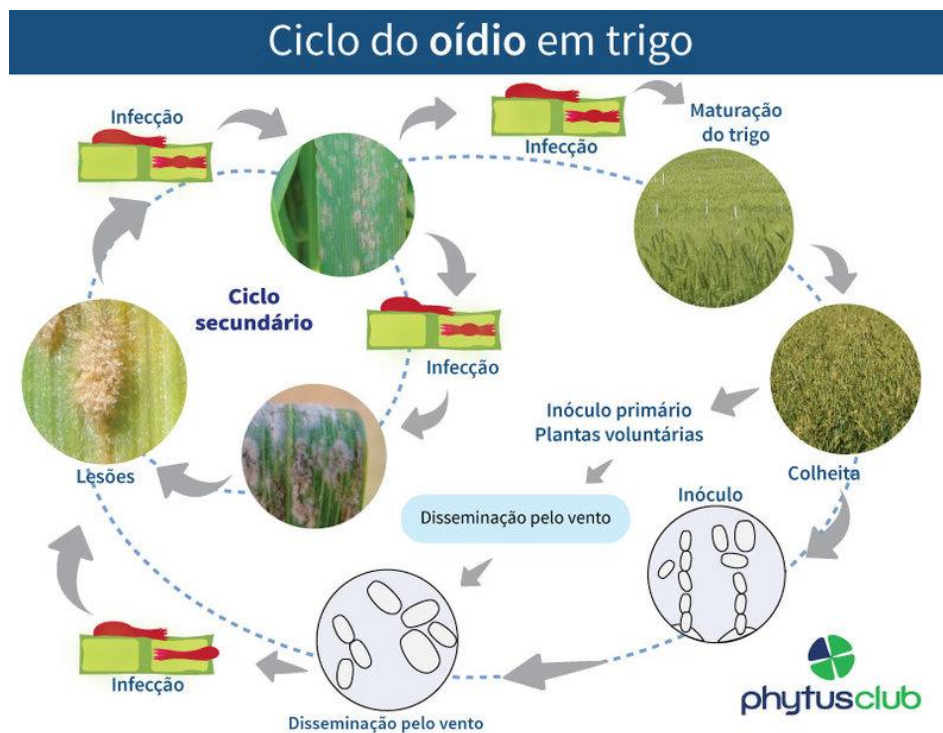
Fonte: Adaptado de Fundação ABC (2022).

Os sinais mais típicos do oídio são colônias esbranquiçadas, com aspecto pulverulento, na superfície das folhas, principalmente na face superior, em razão da presença de micélio e esporos do fungo. Com o avanço da infecção, essas áreas aumentam e podem se juntar, recobrando parte considerável do limbo foliar. Em cultivares suscetíveis e sob alta pressão da doença, o patógeno também pode atingir colmos e espigas, ampliando seu potencial de dano sobre a planta (Ferreira *et al.*, 2025).

À medida que a colonização evolui, os tecidos afetados deixam de apresentar apenas o aspecto branco inicial e passam a mostrar amarelecimento, clorose e, depois, senescência. Com isso, há redução progressiva da área foliar fotossinteticamente ativa. Em situações mais avançadas, os sinais podem até perder parte da aparência típica, o que dificulta a identificação em campo, principalmente quando outras doenças foliares passam a ocorrer junto com o oídio (Linhares; Ignaczak; Picinini, 1988).

A disseminação do patógeno no ciclo secundário ocorre por conídios produzidos superficialmente sobre os tecidos infectados, que são facilmente transportados pelo vento (Figura 3). Além disso, por se tratar de um patógeno biotrófico, a presença de plantas voluntárias contribui para a manutenção do inóculo entre safras, funcionando como ponte verde para o início de novas infecções. Em razão do ciclo curto, da fácil disseminação aérea e da capacidade de adaptação do patógeno, o manejo do oídio exige monitoramento constante e tomada de decisão no momento adequado (Costamilan *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2025).

Figura 3 – Ciclo do oídio do trigo, com destaque para produção de conídios, disseminação e reinfecção ao longo do ciclo da cultura.



Fonte: MARQUES (2022).

Os danos causados pelo oídio estão diretamente ligados à redução da área foliar ativa e ao comprometimento da produção e da redistribuição de fotoassimilados. No trigo, a doença pode reduzir vigor, perfilhamento, número de espigas e enchimento de grãos, refletindo em perdas de produtividade que variam conforme a suscetibilidade da cultivar, o momento de

ocorrência e a intensidade da epidemia. Em materiais suscetíveis e sob condições favoráveis, essas perdas podem ser expressivas (Costamilan *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2025).

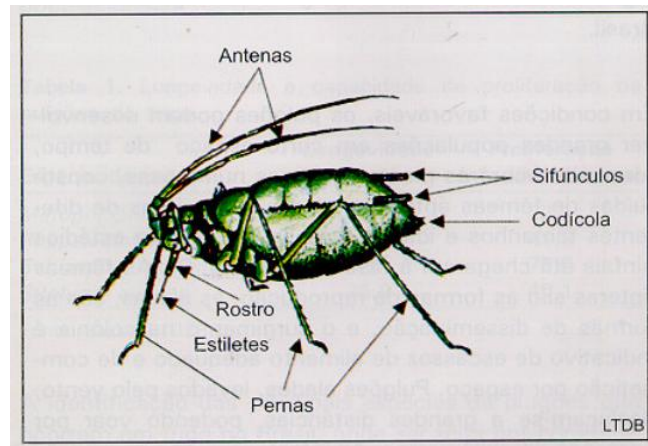
Além da intensidade da doença, o estágio fenológico em que ela ocorre interfere no tipo e na magnitude do dano. Trabalhos clássicos mostram que pequenas quantidades de oídio nos estádios iniciais já podem provocar efeitos relativamente grandes no desenvolvimento da cultura e na produção final. Quando a interferência via pulverização entra tarde, as perdas tendem a aumentar. Isso reforça a importância do bom posicionamento do manejo e do entendimento da progressão da doença no campo, e não apenas de uma avaliação isolada (Linhares; Ignaczak; Picinini, 1988).

Nas condições do Sul do Brasil, o oídio ocorre com frequência e pode assumir caráter endêmico, exigindo integração entre monitoramento, resistência genética, eliminação de plantas voluntárias e aplicação de fungicidas. Como se trata de uma doença de início precoce, rápida evolução e forte relação com o estágio fenológico da cultura, ela se torna um bom alvo em experimentos que avaliam programas fungicidas e ferramentas complementares de manejo (Conte, 2022; Ferreira *et al.*, 2025).

2.3 PULGÃO NO TRIGO

Os pulgões, também chamados de afídeos, estão entre os principais insetos sugadores associados à cultura do trigo. Sua importância não se deve apenas ao dano direto causado pela sucção de seiva, mas também à transmissão de viroses. Esses insetos apresentam alta capacidade de multiplicação, rápida colonização e grande adaptação às condições de campo, o que ajuda a explicar sua relevância econômica em cereais de inverno (Embrapa, 2001). Apresentam corpo mole, sifúnculos e aparelho bucal sugador, como visto na Figura 4.

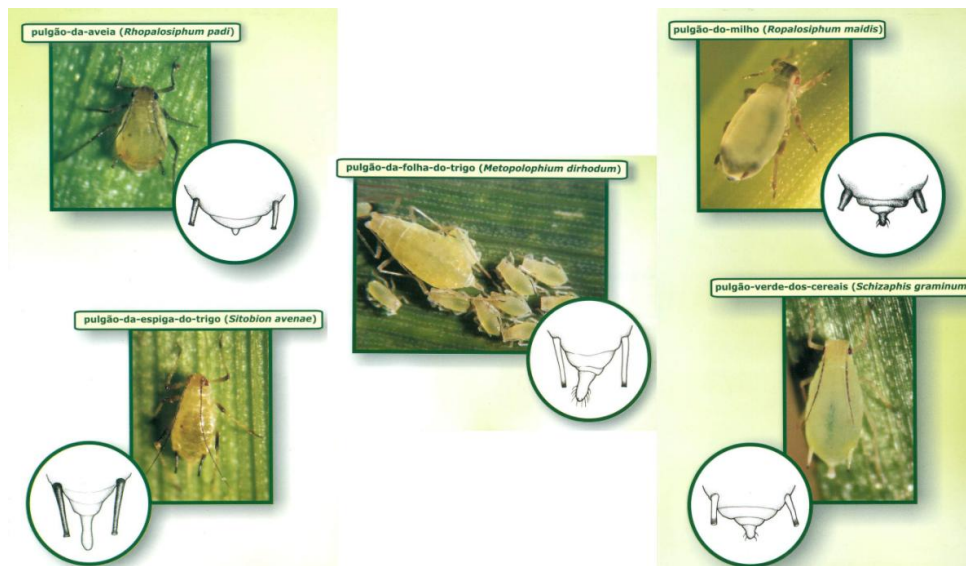
Figura 4 – Características morfológicas de pulgões (Aphididae).



Fonte: Embrapa, 2001.

A Figura 5 ilustra as espécies mais comuns: *Metopolophium dirhodum*, *Schizaphis graminum*, *Sitobion avenae*, *Rhopalosiphum padi* e *Rhopalosiphum rufiabdominale*. Essas espécies não ocupam exatamente o mesmo local na planta e não apresentam o mesmo comportamento, o que torna a identificação importante para entender a dinâmica da infestação e o tipo de prejuízo que pode ocorrer na lavoura (Borém *et al.*, 2015).

Figura 5 – Principais espécies de pulgões associadas à cultura do trigo.

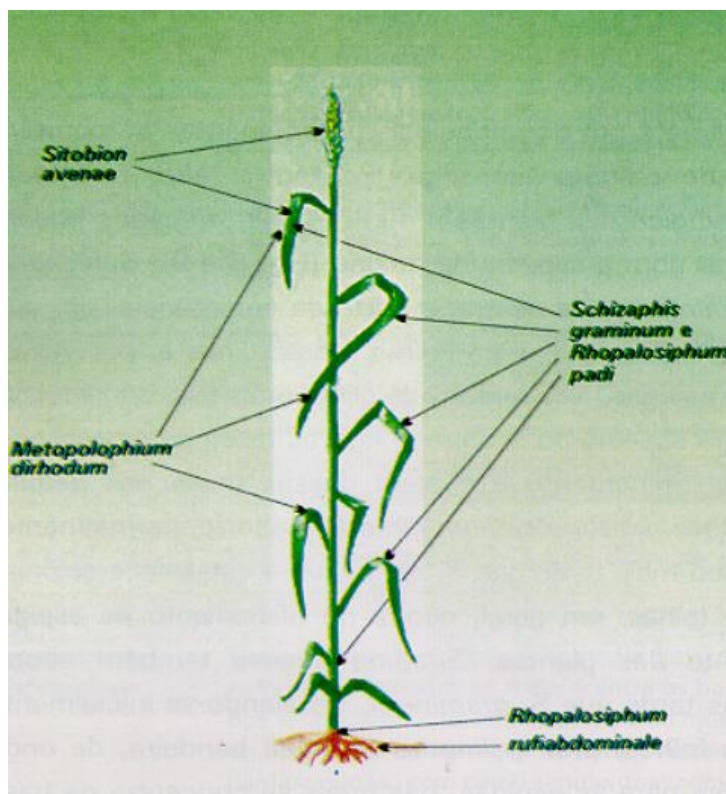


Fonte: Embrapa, 2007.

A localização dessas espécies na planta ajuda bastante na interpretação do problema em campo. De modo geral, *M. dirhodum* tende a aparecer mais nas folhas, *S. avenae* ganha importância na espiga, *R. padi* é encontrado com frequência nas partes inferiores da planta e *R. rufiabdominale* fica mais associado à região próxima às raízes (Figura 6). Isso mostra que a

infestação não é uniforme e que a espécie presente interfere diretamente no local de alimentação e no tipo de dano observado (Pereira; Salvadori; Lau, 2007).

Figura 6 – Principais espécies de pulgões associadas ao trigo e sua localização na planta.



Fonte: Embrapa, 2001.

O dano direto causado pelos pulgões ocorre durante a alimentação via floema. Ao introduzirem os estiletos nos tecidos vegetais, esses insetos retiram seiva e passam a interferir no equilíbrio fisiológico da planta. Como consequência, podem ocorrer redução do vigor, amarelecimento, menor perfilhamento e atraso no desenvolvimento, principalmente quando a infestação aumenta em momentos mais sensíveis da cultura (Embrapa 2001; Borém *et al.*, 2015).

Mesmo assim, em muitos casos o dano indireto pode ser ainda mais importante do que o direto. Isso acontece porque várias espécies de pulgões associadas ao trigo também atuam como vetores do Vírus do Nanismo Amarelo da Cevada, o VNAC ou *Barley yellow dwarf virus* (BYDV), ocasionando lesões amareladas e nanismo (Figura 7). Nessas situações, mesmo populações relativamente baixas podem assumir importância econômica maior, já que o problema passa a envolver não só a presença do inseto, mas também a transmissão do vírus para a lavoura (Silva; Costa; Balardin, 2004).

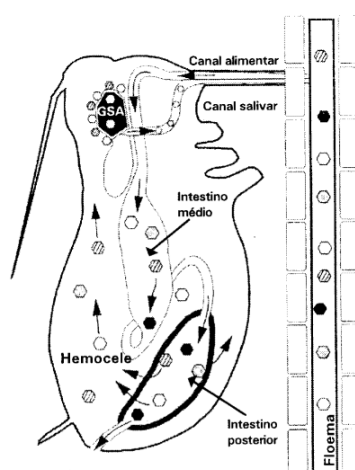
Figura 7 – Sintomas típicos do Vírus do Nanismo Amarelo da Cevada (VNAC/BYDV) em plantas de trigo.



Fonte: Biotrigo, 2026.

A transmissão depende da espécie de pulgão, do tempo de alimentação e da relação entre vetor, vírus e planta hospedeira. Tanto ninfas quanto adultos podem transmitir o vírus, desde que o tenham adquirido previamente ao se alimentarem em plantas infectadas. É considerada uma transmissão circulativa persistente, isto é, mecanismo no qual o vírus ingerido pelo inseto circula por seu corpo, tornando o indivíduo virulífero até o fim de sua vida, esquematizado na Figura 8. De forma geral, o vetor pode adquirir o VNAC em curto período de alimentação e, depois disso, transmiti-lo a plantas saudias (Salvadori, 2001).

Figura 8 – Representação esquemática da aquisição e circulação do Vírus do Nanismo Amarelo da Cevada (VNAC/BYDV) no corpo do pulgão. Os hexágonos pretos utilizados para representar as partículas virais ao longo do processo de transmissão.

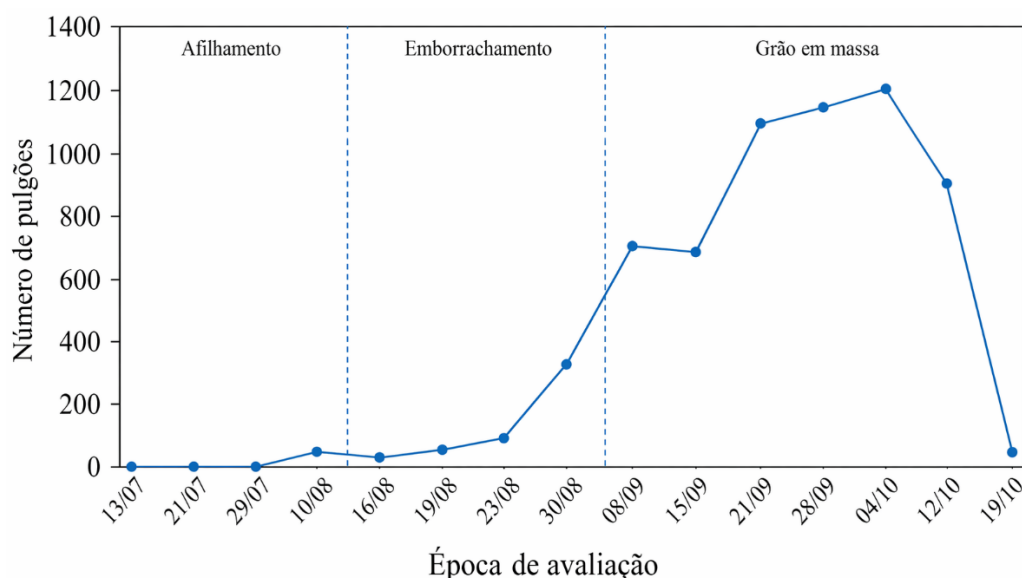


Fonte: Embrapa, 2001.

A ocorrência dos pulgões no trigo está bastante ligada ao estágio fenológico da cultura. No período inicial, até o afilhamento, a infestação tende a ser menor. Depois disso, com o avanço da lavoura, a população normalmente aumenta, tornando-se mais expressiva em fases

mais avançadas, principalmente quando a cultura entra em períodos mais favoráveis à alimentação e ao crescimento das colônias (Mundstock, 1998; Nakano *et al.*, 1981). Esse fenômeno pode ser visualizado na Figura 9.

Figura 9 – Flutuação populacional de pulgões em trigo ao longo do ciclo da cultura, com incremento populacional a partir do afilhamento e pico entre emborrachamento e grão em massa.



Fonte: Modificado de Nakano *et al.*, 1981.

As condições ambientais interferem bastante no desenvolvimento dos pulgões no trigo. Chuvas mais intensas podem derrubar esses insetos das plantas e dificultar sua permanência na lavoura, enquanto ventos fortes também prejudicam sua fixação. A temperatura é outro fator importante: valores muito baixos, abaixo de 2 °C, ou muito altos, acima de 27 °C, afetam negativamente o desenvolvimento de espécies como *Sitobion avenae* e *Metopolophium dirhodum*. Por isso, períodos de temperatura mais amena e sem chuvas intensas tendem a favorecer o crescimento das colônias, enquanto condições mais severas limitam sua multiplicação (Nakano *et al.*, 1981).

Uma das razões para o rápido crescimento das colônias está no tipo de reprodução. Em nossos sistemas de cultivo, predomina a partenogênese telítica (Figura 10), em que as fêmeas originam ninfas sem necessidade de fecundação por machos e, portanto, sem a fase de ovo. Isso acelera bastante a multiplicação populacional e favorece a formação rápida de colônias quando o ambiente está favorável (Borém *et al.*, 2015).

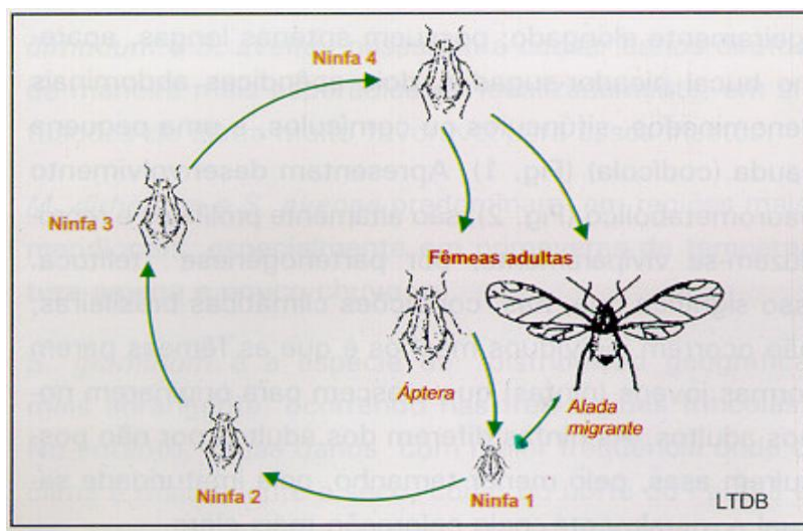
Figura 10 – Indivíduo de pulgão em processo de partenogênese telítoca.



Fonte: O autor.

Além disso, dentro de uma mesma espécie podem ocorrer formas ápteras e aladas (Figura 11). As formas ápteras estão mais ligadas à colonização local, enquanto as aladas têm papel importante na dispersão para novas plantas e novas áreas, principalmente quando há piora das condições do ambiente ou aumento da competição por alimento. Isso ajuda a entender por que a infestação pode mudar rapidamente dentro da própria lavoura (Triplehorn; Johnson, 2019).

Figura 11 – Formas aladas e ápteras de pulgões, evidenciando diferenças morfológicas relacionadas à dispersão e colonização.



Fonte: Embrapa, 2001.

Do ponto de vista do manejo, o monitoramento contínuo da lavoura é indispensável. Embora a tomada de decisão, na prática, normalmente se apoie na densidade de pulgões, fatores como a espécie predominante, o estágio fenológico da cultura, a presença de inimigos naturais e o risco de transmissão de viroses também precisam ser levados em conta. De forma geral, o nível de controle atualmente adotado para a praga é de 10 pulgões por planta ou por espiga (Embrapa, 2001; Nakano *et al.*, 1981).

2.4 MANEJO QUÍMICO

O controle químico continua sendo uma das principais ferramentas no manejo de insetos-praga e doenças na cultura do trigo, principalmente em sistemas de produção mais intensivos, nos quais a manutenção do potencial produtivo depende de respostas rápidas diante da pressão de agentes bióticos. Ainda assim, embora seja amplamente utilizado, o manejo químico não deve ser visto como solução isolada, mas como parte de estratégias mais amplas de manejo integrado.

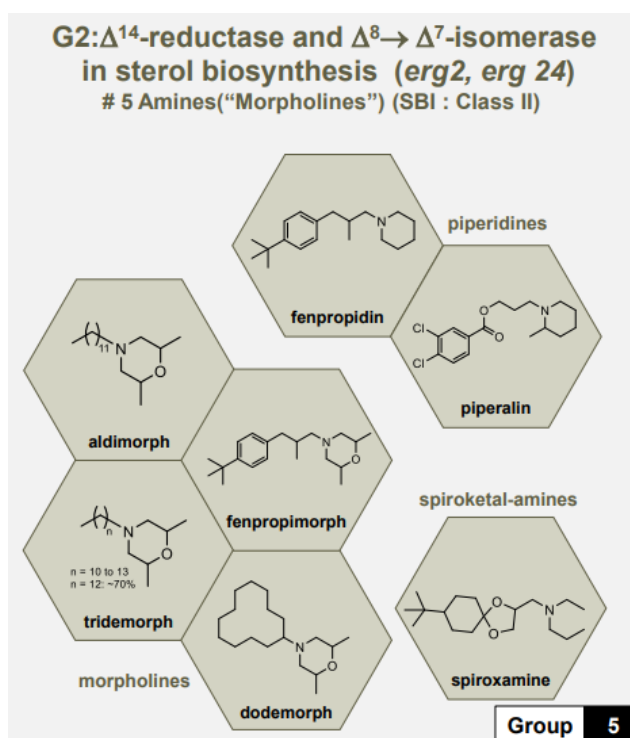
2.4.1 Fungicidas

No manejo do oídio do trigo, o controle químico tem papel central, principalmente em cultivares suscetíveis e em situações em que a doença se instala ainda nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Nesses casos, a escolha do fungicida e o seu correto posicionamento passam a ser decisivos para reduzir o progresso da doença e preservar a área foliar fotossinteticamente ativa.

Com base nos resultados da Rede de Ensaio Cooperativos da Embrapa nas últimas safras, o manejo químico do oídio no trigo vem se apoiando, de forma recorrente, em moléculas com bom desempenho no controle da doença, entre elas triazóis como tetraconazol e epoxiconazol, além de fungicidas dos grupos das morfolinas e piperidinas. Na safra de 2022, por exemplo, fenpropimorfe e fenpropidin estiveram entre os tratamentos avaliados e integraram o conjunto de alternativas eficientes para o controle do oídio. Em 2023, o fenpropimorfe voltou a aparecer em mistura entre os tratamentos testados e, em 2024, essa molécula permaneceu entre os fungicidas sugeridos e avaliados pela rede. Assim, a escolha de fenpropimorfe e fenpropidin encontra respaldo no histórico recente dos ensaios cooperativos conduzidos pela Embrapa, reforçando a importância de morfolinas e piperidinas no manejo químico do oídio do trigo (Ferreira, 2023, 2024 e 2025).

Além disso, Reis (2023) destaca que alguns fungicidas inibidores da desmetilação (IDMs) podem apresentar ação erradicante, principalmente em um primeiro momento, quando os sinais do patógeno ainda estão começando a aparecer. Nesse contexto, ganham destaque grupos como triazóis, triazolintionas, morfollinas e piperidinas, uma vez que atuam na biossíntese de ergosterol, principal esteroide da membrana celular fúngica, responsável por conferir estabilidade estrutural à célula. Na Figura 12, estão representados os grupos das piperidinas e morfollinas. Por atuarem nesse processo, esses fungicidas tendem a ter efeito mais evidente quando a doença já está instalada. Por outro lado, considera-se que, nas fases iniciais de germinação do esporo e emissão do tubo germinativo, o fungo possa utilizar reservas previamente disponíveis de ergosterol, o que ajuda a entender a importância de fungicidas com ação esporicida nesse momento, como estrobilurinas e carboxamidas, que atuam sobre a respiração celular.

Figura 12 – Fungicidas dos grupos das morfollinas e piperidinas, e seus respectivos compostos representativos, com atuação sobre a biossíntese de ergosterol na membrana celular fúngica.



Fonte: Frac-Brasil, 2026.

Outro ponto importante dentro do manejo químico é o risco de seleção de populações menos sensíveis aos fungicidas. Conforme o FRAC, a resistência a fungicidas corresponde a uma redução hereditária adquirida da sensibilidade de um fungo a determinado ingrediente ativo, podendo se refletir, em situações mais avançadas, em perda de controle sob condições de

campo. Esse processo tem base evolutiva e ocorre porque a aplicação repetida de fungicidas exerce pressão de seleção sobre a população do patógeno, eliminando os indivíduos sensíveis e favorecendo aqueles com menor sensibilidade.

Em fungos, isso pode ocorrer de forma relativamente rápida, em razão do elevado potencial reprodutivo e da curta duração de seus ciclos. Além disso, a resistência pode se manifestar de forma quantitativa, quando há deslocamento gradual da sensibilidade média da população, ou qualitativa, quando surgem isolados com redução mais acentuada de sensibilidade e maior risco de comprometer a eficácia do produto no campo.

Por isso, a adoção de estratégias complementares ao manejo químico, com ferramentas que ajudem a reduzir a pressão da doença e a dependência exclusiva de fungicidas, passa a ter importância dentro de programas de manejo mais sustentáveis (Frac, 2026).

2.4.2 Inseticidas

No manejo de pulgões, o controle químico é feito principalmente com inseticidas sistêmicos e de contato, aplicados via tratamento de sementes ou pulverização foliar. Os neonicotinoides se destacam pela ação sistêmica e pelo bom desempenho tanto em tratamento de sementes quanto em aplicações foliares, sendo úteis no controle inicial de pulgões e na redução do risco de transmissão viral nos estádios iniciais da cultura (Silva; Costa; Balardin, 2004). Entre os carbamatos, que atuam como inibidores de acetilcolinesterase, o metomil apresenta ação de contato e ingestão, sendo tradicionalmente utilizado no controle de insetos-praga em grandes culturas. A escolha do inseticida, assim como o momento da aplicação, precisa considerar o nível de infestação, o estágio da cultura, a presença de inimigos naturais e o risco de disseminação de vírus.

Apesar da eficiência operacional, o manejo químico também apresenta limitações importantes. Assim como ocorre com os fungicidas, uma das principais é o desenvolvimento de resistência, fenômeno resultante da pressão de seleção imposta pelo uso repetitivo de moléculas com o mesmo mecanismo de ação. Em insetos, essa resistência pode aparecer como resistência cruzada, quando o inseto passa a tolerar compostos de mesmo alvo bioquímico, ou como resistência múltipla, quando diferentes mecanismos de ação deixam de ser eficazes sobre a mesma população (Cruz, 2002).

No caso dos pulgões, o manejo químico com inseticidas é utilizado principalmente quando a infestação atinge níveis capazes de comprometer o desenvolvimento da cultura ou aumentar o risco de transmissão de viroses. Nessa situação, a eficiência do controle depende

não apenas do produto escolhido, mas também do momento da aplicação, da espécie predominante e do estágio fenológico da cultura (Pereira; Salvadori; Lau, 2007).

Assim, embora fungicidas e inseticidas continuem sendo centrais no manejo fitossanitário do trigo, suas limitações técnicas, econômicas e ambientais justificam a busca por abordagens complementares. É nesse cenário que o estudo de elementos benéficos, indutores de defesa e ferramentas semelhantes ganha importância, especialmente quando associado ao manejo químico convencional.

2.5 NUTRIÇÃO E SANIDADE VEGETAL

A relação entre nutrição mineral e sanidade vegetal é bastante próxima, porque o estado nutricional da planta interfere diretamente no seu crescimento, na formação dos tecidos e no funcionamento de processos metabólicos essenciais. Em outras palavras, a nutrição não afeta apenas o vigor da planta, mas também a forma como ela responde a condições adversas, incluindo a presença de patógenos e insetos-praga. Por isso, alterações no suprimento de nutrientes podem modificar tanto a intensidade de doenças quanto a suscetibilidade da planta a diferentes estresses (Malavolta, 2006).

De modo geral, plantas em melhor condição nutricional tendem a apresentar crescimento mais adequado e maior capacidade de tolerar danos. Por outro lado, quando a nutrição se afasta desse ponto de equilíbrio, seja por deficiência, excesso ou desbalanço entre nutrientes, a suscetibilidade pode aumentar. Isso acontece porque a nutrição altera a composição dos tecidos, a concentração de compostos solúveis e o próprio padrão de crescimento da planta, o que acaba interferindo nas interações com patógenos e pragas. Assim, a relação entre nutrição e sanidade não é fixa, mas depende do nutriente envolvido, do hospedeiro, do organismo agressor e das condições do ambiente (Marschner, 2012).

Outro ponto importante é que a nutrição participa da formação estrutural da planta. A parede celular, por exemplo, tem papel central na sustentação dos tecidos, na proteção e na manutenção da integridade das células. Dessa forma, alterações no suprimento mineral podem repercutir na constituição e no funcionamento dessas estruturas, com reflexo direto sobre a resistência física do hospedeiro. Isso é relevante porque a penetração de muitos patógenos e até a ação de insetos sugadores ou raspadores depende, em alguma medida, da condição estrutural dos tecidos vegetais (Fernandes *et al.*, 2018).

Além da parede celular, o sistema radicular também entra nessa relação. A raiz não atua apenas na absorção de água e nutrientes, mas responde continuamente às condições do ambiente

e à disponibilidade dos elementos minerais. Mudanças na arquitetura radicular, na emissão de raízes laterais, na absorção e no transporte de nutrientes acabam influenciando o estado geral da planta e sua capacidade de enfrentar estresses. Por isso, a sanidade vegetal não pode ser entendida apenas a partir da parte aérea, já que a condição nutricional começa a ser definida no sistema radicular e na eficiência com que a planta consegue explorar o solo (Fernandes *et al.*, 2018).

Dentro disso, a nutrição mineral pode interferir na sanidade por diferentes caminhos. Um deles é o efeito sobre o crescimento e sobre a composição dos tecidos, já que plantas mais equilibradas nutricionalmente tendem a apresentar maior capacidade de compensar injúrias e manter seu desenvolvimento. Outro envolve a modificação da concentração de compostos solúveis e de substâncias relacionadas à defesa, o que pode tornar o ambiente interno da planta mais ou menos favorável ao estabelecimento de doenças ou ao ataque de pragas (Figura 13). Assim, a resposta da planta não depende apenas da presença do nutriente, mas também da forma como esse nutriente participa do metabolismo e da organização estrutural do hospedeiro (Malavolta, 2006).

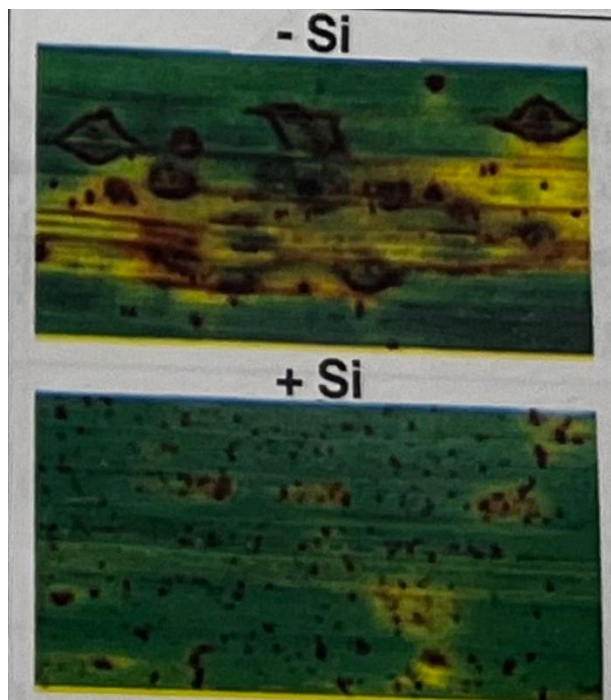
Também é importante considerar que os sintomas de desordens nutricionais podem, em algumas situações, ser confundidos com danos causados por doenças, pragas ou outros fatores de estresse. Isso mostra que nutrição e sanidade vegetal não são temas separados. Pelo contrário, muitas vezes eles se sobrepõem no campo, e a interpretação correta do problema depende de entender que a planta responde de forma integrada ao ambiente, ao suprimento mineral e à presença de organismos nocivos (Fernandes *et al.*, 2018).

Mesmo assim, a nutrição adequada não deve ser vista como substituta do manejo fitossanitário. Seu papel é melhor entendido como parte de um sistema de manejo, no qual o equilíbrio nutricional contribui para reduzir predisposições e melhorar a resposta da planta, mas não elimina, por si só, a necessidade de outras práticas de controle. Isso é especialmente importante em culturas sujeitas a doenças policíclicas e a insetos de rápida multiplicação, como ocorre no trigo, em que o ambiente e a pressão biótica podem superar a simples condição nutricional da planta (Marschner, 2012).

Dentro dessa discussão, alguns elementos ganham destaque por apresentarem efeito mais evidente na interface entre nutrição e sanidade. Entre eles, o silício merece atenção especial, não só pelos efeitos sobre a estrutura dos tecidos, mas também por sua associação com a redução de danos causados por doenças e outros estresses. Embora o silício já seja reconhecido por contribuir para a defesa vegetal, os mecanismos bioquímicos envolvidos e as

rotas associadas à sua atuação ainda não estão totalmente esclarecidos. Por isso, seu papel na sanidade vegetal será discutido separadamente no tópico seguinte.

Figura 13 – Comparação entre tecido foliar de arroz com e sem suprimento de silício, evidenciando redução da intensidade da doença (brusone) na presença do elemento.



Fonte: Fernandes *et al.*, 2018.

2.6 SILÍCIO

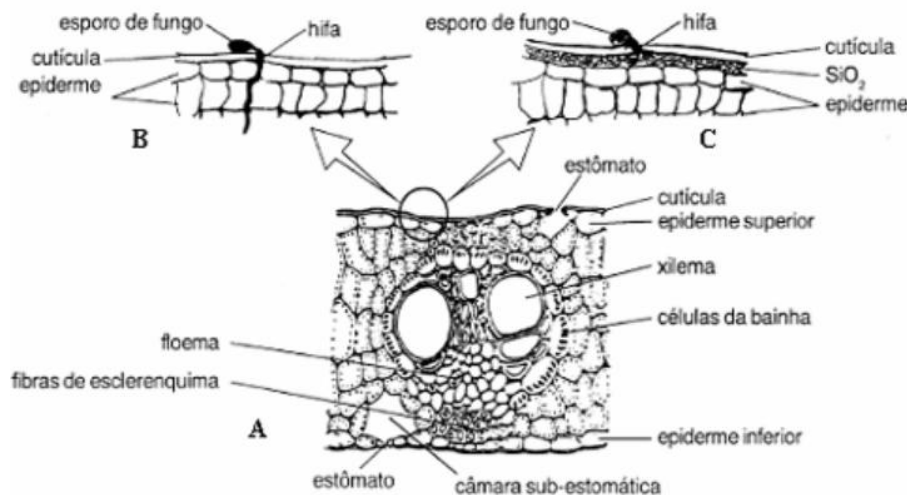
O silício é absorvido pelas plantas principalmente na forma de ácido monossilícico $[\text{Si}(\text{OH})_4]$, e seu transporte ocorre por proteínas específicas, como Lsi1 e Lsi2. Ainda assim, a capacidade de absorver e acumular esse elemento varia bastante entre as espécies. Por isso, as plantas costumam ser classificadas em acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras. Nas gramíneas, esse acúmulo geralmente é maior, o que ajuda a entender por que o silício desperta interesse agrônomo em culturas como o trigo. Embora não seja reconhecido de forma universal como nutriente essencial, seus efeitos benéficos já são bem aceitos, principalmente em condições de estresse (Marschner, 2012; Wang *et al.*, 2017).

Hoje já se sabe que a atuação do silício na defesa vegetal não depende de um único mecanismo. O entendimento mais aceito é que seus efeitos envolvem componentes físicos, bioquímicos e moleculares que atuam de forma conjunta. Por isso, aquela ideia mais antiga de que o Si funcionaria apenas como uma barreira mecânica ainda tem valor, mas sozinha já não

explica tudo o que vem sendo observado. Em muitos casos, o elemento parece atuar tanto no reforço dos tecidos quanto na modulação da resposta de defesa da planta (Romero; Munévar; Cayón, 2011; Wang *et al.*, 2017).

Do ponto de vista estrutural, o Si pode ser depositado abaixo da cutícula, na parede celular e em regiões apoplásticas, formando uma camada sílica-cutícula e deixando os tecidos mais rígidos, como ilustrado nas Figuras 14 e 15. Esse reforço físico dificulta a penetração de estruturas infectivas, reduz o avanço inicial da colonização e pode atrasar o estabelecimento do patógeno. Em gramíneas, esse efeito também tem sido relacionado ao fortalecimento de papilas e ao aumento da resistência local nos pontos de infecção, o que ganha importância em doenças causadas por fungos que dependem da penetração direta no tecido vegetal (Wang *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2020).

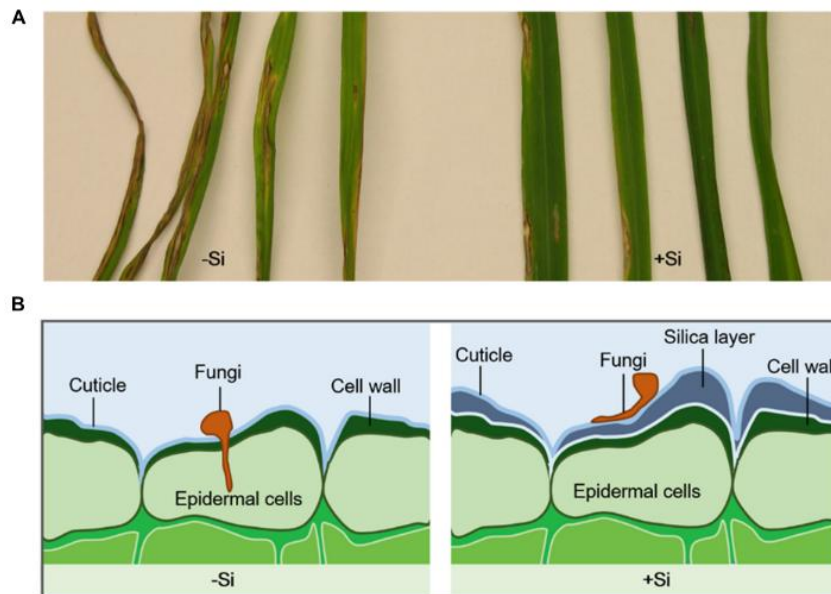
Figura 14 – Representação do Limbo foliar de monocotiledônea.



A) Corte transversal do limbo foliar de monocotiledônea B) Desenvolvimento de hifa de fungo em tecido foliar sem acúmulo de sílica. C) Camada de sílica abaixo da cutícula dificultando o desenvolvimento da hifa de fungos. Fonte: Malavolta, 2002.

No caso do oídio, esse efeito do silício ganha importância ainda maior. Em interações com fungos biotróficos, como *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, o Si tem sido associado ao fortalecimento de papilas, à limitação da colonização e à menor progressão do fungo nos tecidos. Esse tipo de resposta ajudou a mudar a visão mais antiga de que a resistência mediada por silício seria apenas passiva, mostrando que, nesse patossistema, o elemento participa de forma mais ativa da interação entre planta e patógeno, principalmente nas fases iniciais da infecção (Vivancos *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2020).

Figura 15 – Modelo esquemático da atuação do silício na resistência de plantas a patógenos, envolvendo reforço estrutural.



A) Folhas com e sem aporte de Silício; B) Esquema representando a deposição de Silício influenciando na penetração do fungo no tecido.

Fonte: Adaptado de Wang *et al.*, 2017.

Além do efeito estrutural, o silício também tem sido relacionado a alterações bioquímicas importantes na defesa vegetal. Entre elas, destacam-se o aumento da atividade de enzimas como peroxidases, quitinases e β -1,3-glucanases, além de outras envolvidas no reforço da parede celular, na síntese de compostos fenólicos e na resposta ao estresse oxidativo. Nesse contexto, a rota dos fenilpropanóides merece atenção, porque dela derivam lignina, flavonóides e outros metabólitos com função defensiva. Isso ajuda a entender por que, em diferentes espécies, o suprimento de Si tem sido associado ao aumento de compostos antimicrobianos e à redução da severidade de doenças (Romero; Munévar; Cayón, 2011; Wang *et al.*, 2017).

No nível molecular, uma das explicações mais aceitas hoje é a do *priming*. Nesse caso, o silício não deixa a defesa da planta ativada o tempo todo, mas a mantém em uma condição de maior prontidão. Quando o ataque acontece, a resposta tende a ser mais rápida e, em muitos casos, mais intensa. Isso ajuda a explicar por que o efeito do Si nem sempre aparece com tanta clareza em plantas saudáveis, mas se torna mais evidente depois da inoculação do patógeno ou da ocorrência do estresse. Em vez de ativar continuamente as defesas, o elemento parece preparar a planta para reagir melhor quando necessário (Vivancos *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2017).

Outro ponto importante é que, até o momento, não existe uma rota única capaz de explicar toda a atuação do silício. Alguns trabalhos indicam participação de vias relacionadas

ao ácido salicílico, enquanto outros mostram que a proteção mediada por Si pode ocorrer mesmo quando essa rota está alterada. Em *Arabidopsis*, por exemplo, já foi demonstrado que o silício pode conferir proteção contra oídio por mecanismos que não dependem exclusivamente da defesa mediada por SA. Em estudos mais recentes, altos teores de Si foram associados a uma defesa em múltiplas camadas, envolvendo PAD4 e interação com calose, reforçando a ideia de que o elemento atua mais como modulador da defesa do que como ativador linear de uma única via (Vivancos *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2020).

Também há indícios de que o silício reduz o impacto da infecção sobre o metabolismo do hospedeiro. Em vez de provocar, por si só, uma grande reprogramação transcricional, ele pode atenuar o efeito do patógeno sobre a planta. Em trigo infectado por *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, por exemplo, o fornecimento de Si esteve associado a menor perturbação do transcriptoma em comparação com plantas não supridas, sugerindo que o elemento ajuda a amortecer o estresse causado pela infecção. Esse resultado combina com a ideia de *priming* e reforça que o Si pode contribuir para manter maior estabilidade funcional da planta durante o ataque (Vivancos *et al.*, 2015).

De modo geral, o que se sabe hoje é que o silício atua por diferentes mecanismos que se complementam: reforço físico dos tecidos, modulação de enzimas e metabólitos ligados à defesa, participação em fenômenos de *priming* e interação com redes de sinalização já presentes na planta. O que ainda não está totalmente esclarecido é o peso de cada uma dessas rotas em cada patossistema. Mesmo assim, já existe consenso de que o Si não deve ser visto apenas como um depósito inerte nos tecidos, mas como um elemento capaz de contribuir de forma efetiva para a redução da doença e para o fortalecimento da resposta do hospedeiro (Marschner, 2012; Wang *et al.*, 2020).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do silício associado ao manejo químico de pulgões e oídio na cultura do trigo, buscando compreender sua influência sobre variáveis fitossanitárias e produtivas da cultura.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o efeito da aplicação de silício em associação a fungicidas na severidade do oídio, por meio da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD);

Avaliar a flutuação populacional de pulgões ao longo do ciclo da cultura;

Avaliar a interferência de oídio e pulgões sobre a produtividade e o peso hectolitro (PH) do trigo;

Comparar a eficiência do manejo químico isolado e associado ao silício no controle do oídio;

Verificar o potencial do silício como ferramenta complementar no manejo integrado de pragas e doenças a nível de campo na cultura do trigo.

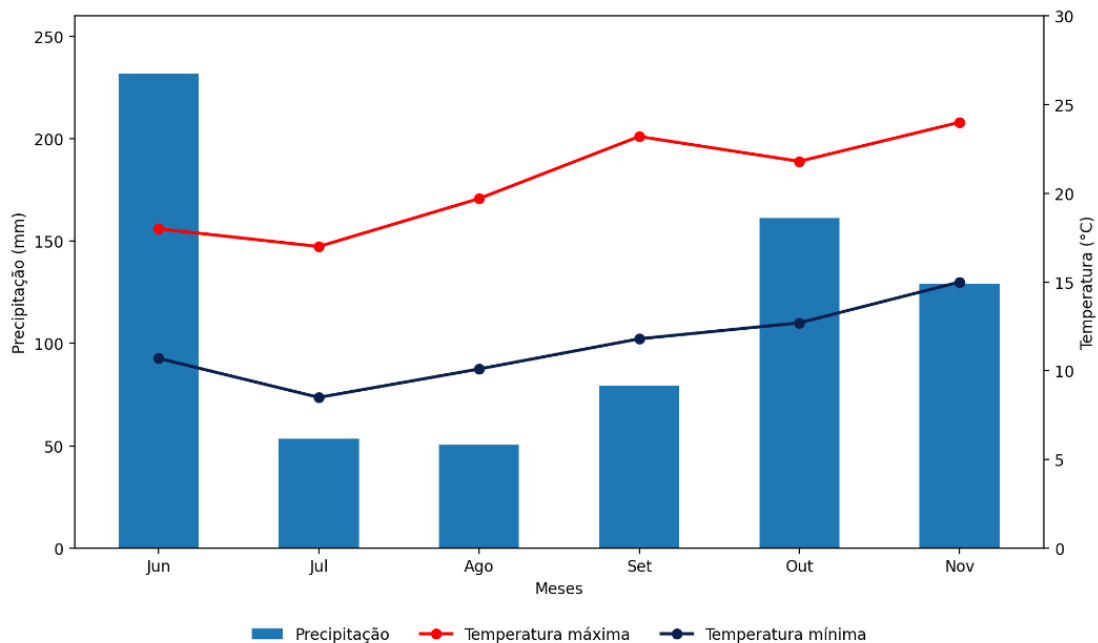
4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O estudo foi conduzido na Fazenda Escola Capão da Onça, pertencente à Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), localizada no município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil. A região apresenta clima subtropical úmido mesotérmico do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por temperaturas amenas, ausência de estação seca definida e distribuição relativamente uniforme das precipitações ao longo do ano, condições que favorecem o desenvolvimento da cultura do trigo, bem como a ocorrência de doenças foliares e insetos-praga.

Durante o período de condução dos ensaios, foram registradas as condições pluviométricas da região (Figura 16), as quais podem influenciar diretamente o desenvolvimento da cultura, bem como a dinâmica de pragas e doenças.

Figura 16 – Precipitação pluviométrica mensal acumulada (mm) e temperaturas máxima e mínima médias (°C) registradas durante o período de condução dos ensaios na Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG, Ponta Grossa – PR.



Fonte: SIMEPAR.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA E CONDUÇÃO DOS ENSAIOS

Foram conduzidos dois ensaios independentes em campo, utilizando a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.), cultivar TBIO Calibre – material considerado intermediário em relação a reação à oídio (5/9) – semeada em espaçamento entre linhas de 0,17 m. A escolha da cultivar se deu em função de sua ampla utilização na região e adaptação às condições edafoclimáticas locais.

O primeiro ensaio foi destinado à avaliação do efeito do silício associado ao manejo químico de pulgões, enquanto o segundo teve como objetivo avaliar o efeito do silício em associação ao manejo químico do oídio. Ambos os ensaios foram implantados na mesma área experimental, sob condições agronômicas semelhantes, visando reduzir interferências ambientais e permitir comparabilidade entre os resultados.

Os tratamentos culturais, incluindo adubação, manejo de plantas daninhas e demais práticas agronômicas, foram realizados de forma uniforme em todas as parcelas, seguindo as recomendações técnicas para a cultura do trigo, de modo a garantir que as diferenças observadas fossem atribuídas aos tratamentos avaliados.

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

4.3.1 Ensaio de indução de resistência no manejo de pulgões no trigo

O ensaio foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais. Cada parcela apresentou área de 42 m², sendo consideradas as linhas centrais como área útil, descartando-se as bordaduras.

Os tratamentos foram compostos por aplicações de inseticidas isolados e em associação com silício, distribuídos conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos no ensaio de pulgão no trigo.

Tratamento	Ingrediente ativo [i.a.]	Dose p.c. ml ha-1
T1	Testemunha	-
T2	Imidacloprido + beta-ciflutrina (Platinum Neo)	600
T3	Imidacloprido + beta-ciflutrina (Platinum Neo) + Silício	600 + 150
T4	Metomil	50
T5	Metomil + Silício	50 + 150

Os inseticidas utilizados representam diferentes modos de ação, sendo o imidacloprido um neonicotinoide sistêmico e a beta-ciflutrina um piretroide de contato, enquanto o metomil pertence ao grupo dos carbamatos, permitindo avaliar possíveis interações entre o silício e diferentes mecanismos de controle químico. O produto à base de ácido monossilícico e hidróxido de potássio, apresenta 8% de silício solúvel em água. O silício foi aplicado na dose de 150 mL ha⁻¹ nos tratamentos em associação.

4.3.2 Ensaio de indução de resistência no manejo de oídio no trigo

O ensaio foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. Os tratamentos foram compostos por programas de aplicação de fungicidas, isolados ou em associação com silício, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Descrição dos tratamentos no ensaio de oídio no trigo.

Tratamento	Ingrediente ativo [i.a.]	Dose p.c. ml ha-1
T1	Testemunha	-
T2	Fenpropimorfe; Fenpropidin, Fenpropimorfe e Tebuconazol	600, 750, 750
T3	Fenpropimorfe; Fenpropidin, Fenpropimorfe e Tebuconazol + 1 silício	600, 750, 750 + 150
T4	Fenpropimorfe; Fenpropidin, Fenpropimorfe e Tebuconazol + 2 silício	600, 750, 750 + 150
T5	Fenpropimorfe; Fenpropidin, Fenpropimorfe e Tebuconazol + 3 silício	600, 750, 750 + 150
T6	Fenpropimorfe; Fenpropidin, Fenpropimorfe e Tebuconazol + 4 silício	600, 750, 750 + 150

Ao todo, foram realizadas quatro aplicações no ensaio. O tratamento T2 recebeu apenas o programa fungicida, sem adição de silício. A partir do tratamento T3, o silício foi associado de forma progressiva às aplicações: no T3, foi adicionado Si apenas na primeira

aplicação; no T4, na primeira e na segunda; no T5, na primeira, segunda e terceira; e no T6, em todas as quatro aplicações realizadas. Foram realizadas em intervalos de 14 dias, acompanhando os principais estádios fenológicos da cultura, estratégia adotada para garantir proteção contínua das folhas e espigas durante o período de maior suscetibilidade ao oídio.

4.4 APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

As aplicações foliares foram realizadas com pulverizador costal pressurizado por CO₂, utilizando volume de calda de 150 L ha⁻¹. O equipamento foi previamente calibrado quanto à vazão, pressão e uniformidade de distribuição, garantindo padronização entre tratamentos.

As pulverizações foram realizadas sob condições ambientais propícias, sempre buscando aplicar com temperatura inferior a 30 °C, umidade relativa superior a 50% e velocidade do vento inferior a 10 km h⁻¹, visando minimizar perdas por deriva e evaporação. Todas as aplicações foram feitas com uso de equipamentos de segurança (Figura 17).

Figura 17 – Aplicação foliar dos tratamentos fitossanitários na cultura do trigo, realizada com pulverizador costal pressurizado por CO₂, na área experimental.



Nos tratamentos com silício, este foi adicionado à calda de pulverização na dose de 150 mL ha⁻¹, sendo aplicado simultaneamente aos inseticidas ou fungicidas, conforme o ensaio.

4.5 VARIÁVEIS AVALIADAS

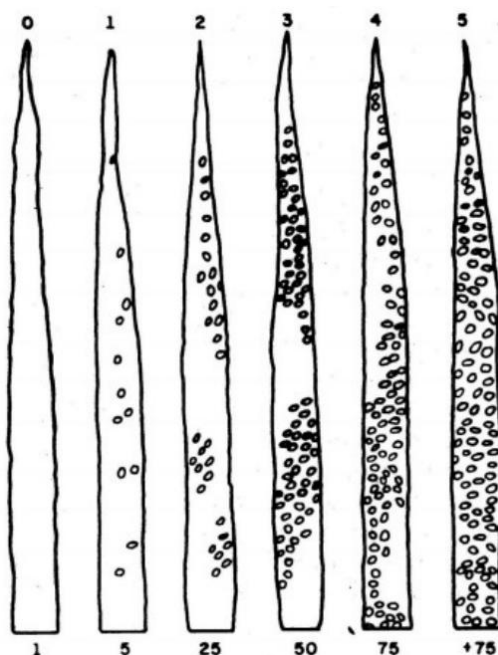
4.5.1 População de pulgões

A população de pulgões foi avaliada semanalmente por meio de inspeção visual em plantas localizadas na área útil de cada parcela, sendo amostradas 15 plantas por parcela. As avaliações foram realizadas ao longo do ciclo da cultura, permitindo acompanhar a dinâmica populacional dos insetos em função dos tratamentos aplicados.

4.5.2 Severidade do oídio

A severidade do oídio foi avaliada em dez plantas por parcela, amostradas aleatoriamente, utilizando escala de severidade (1 a 75%) adaptada de Reis (1979), baseada na porcentagem de área foliar afetada, conforme a Figura 18.

Figura 18 – Escala diagramática de severidade de oídio no trigo.



Fonte: Adaptado de Reis, 1979.

As avaliações foram realizadas antes das aplicações dos tratamentos e em intervalos regulares de sete dias após cada aplicação, permitindo acompanhar a evolução da doença ao longo do tempo.

4.5.3 Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)

A AACPD foi calculada com base nos valores de severidade obtidos nas avaliações sucessivas, utilizando a expressão:

$$\text{AACPD} = \Sigma [((y_1 + y_2)/2) \times (t_2 - t_1)]$$

Essa variável foi utilizada para integrar a intensidade e a evolução da doença ao longo do ciclo.

4.5.4 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos foi determinada ao final do ciclo da cultura, por meio da colheita da área útil (1,8m largura no centro da parcela por 6m de comprimento) das parcelas com colhedora de parcelas (Figura 19). Após a obtenção da massa de grãos, os valores foram convertidos para sacas por hectare (sc ha^{-1}), realizando-se a correção da umidade para 13%, padrão adotado para comparação do rendimento em trigo.

Figura 19 – Colheita das parcelas experimentais de trigo com colhedora de parcelas, utilizada para determinação da produtividade de grãos.



Fonte: O autor.

4.5.5 Peso hectolitro (PH)

O peso hectolitro foi determinado após a colheita, utilizando-se amostras de grãos provenientes das parcelas experimentais, com valor expresso em kg hL^{-1} . A avaliação foi realizada em equipamento específico para análise de grãos modelo Gehaka AGRI G650i (Figura 20), sendo o peso hectolitro adotado como indicador da qualidade física do produto colhido.

Figura 20 – Equipamento utilizado para determinação do peso hectolitro dos grãos de trigo, modelo Gehaka AGRI G650i.



Fonte: O autor.

4.5.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2008). Quando constatado efeito significativo pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE PULGÃO E RENDIMENTO DO TRIGO

A população de pulgões por planta foi influenciada significativamente pelos tratamentos avaliados, mostrando que o manejo químico, tanto isolado quanto associado ao silício, interferiu na infestação da praga na cultura do trigo. Na ausência de controle, houve maior estabelecimento e permanência da infestação nas parcelas, confirmando a importância dos afídeos como grupo com alta capacidade de colonização em cereais de inverno (Salvadori, 2001; Triplehorn, 2019).

Tabela 3 – Parâmetros avaliados no ensaio de pulgão no trigo.

Tratamento	Parâmetros avaliados*		
	Pulgão por planta	Peso hectolitro	Produtividade kg ha ⁻¹
Testemunha	5,52 a	71,75 a	3094,2 a
Imidacloprido + beta-ciflutrina	3,23 b	71,85 a	3397,2 b
Imidacloprido + beta-ciflutrina + Si	2,48 bc	71,95 a	3424,2 b
Metomil	2,12 bc	72,60 a	3453 b
Metomil + Si	1,58 c	73,52 a	3582,98 b
CV%	19,14	1,61	2,08

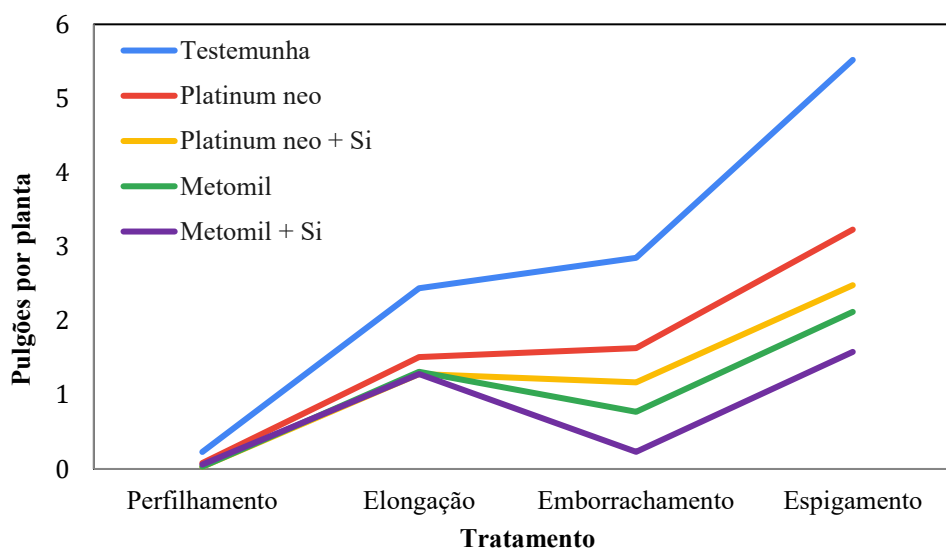
*Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A redução da infestação nas parcelas tratadas mostra que os inseticidas utilizados foram eficientes no manejo dos pulgões. O tratamento com imidacloprido + beta-ciflutrina apresentou média de 3,23 pulgões por planta, valor inferior ao da testemunha. Já o metomil, aplicado isoladamente, reduziu a infestação para 2,12 pulgões por planta, ficando em grupo intermediário. Esses resultados estão de acordo com a importância do controle químico no manejo de pulgões em trigo, principalmente porque esses insetos, além de retirarem fotoassimilados da planta, comprometem o metabolismo do hospedeiro e ainda aumentam o risco de transmissão de viroses, como o Vírus do Nanismo Amarelo da Cevada (VNAC/BYDV) (Salvadori, 2001; Backus *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2013). Assim, reduzir a população de pulgões não significa apenas diminuir o dano direto, mas também diminuir a pressão de inoculação viral na lavoura.

A associação do silício aos inseticidas indicou efeito complementar no controle dos pulgões (Figura 21). O tratamento metomil + silício apresentou a menor infestação do ensaio,

com 1,58 pulgões por planta, enquanto imidacloprido + beta-ciflutrina + silício apresentou 2,48 pulgões por planta. De modo geral, os resultados sugerem que o silício potencializou o controle químico, com destaque para sua associação ao metomil, que resultou no menor valor de infestação observado.

Figura 21 – Número médio de pulgões por planta em função dos tratamentos na cultura do trigo.



Fonte: O autor.

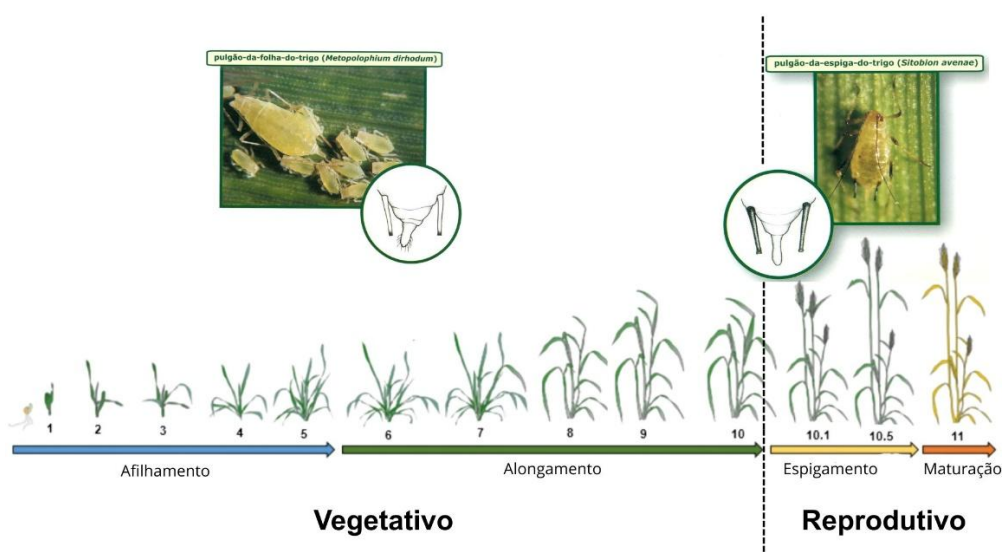
Do ponto de vista biológico, esse comportamento sugere que o silício pode ter contribuído para tornar a planta menos favorável ao estabelecimento e à alimentação dos afídeos, atuando de forma complementar ao inseticida. Embora o trigo não seja considerado uma espécie que acumula grandes quantidades de Si e, neste estudo, tenham sido utilizadas doses relativamente baixas do elemento, a literatura indica que mesmo nessas condições o silício pode modular processos ligados ao fortalecimento dos tecidos, especialmente pela influência sobre a síntese de lignina e outros componentes estruturais da parede celular. Em insetos sugadores, isso é relevante porque o sucesso da colonização depende da capacidade de inserir os estiletes e explorar o floema de maneira eficiente. Assim, é plausível supor que a associação entre inseticida e silício tenha reduzido a aptidão da planta ao ataque dos pulgões, favorecendo o controle observado, sobretudo nos tratamentos em que essa associação resultou em menores níveis de infestação (Jadhao; Bansal; Rout, 2020; Backus *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2013).

Nesse sentido, a diferença observada entre metomil isolado e metomil + silício sugere que o efeito complementar do Si não ocorreu de forma uniforme entre os inseticidas avaliados.

Como esse comportamento não foi observado com a mesma intensidade para imidacloprido + beta-ciflutrina, a interpretação mais adequada é que a resposta possa estar relacionada à interação específica entre o metomil, a planta tratada com silício e o pulgão. Embora este experimento não tenha sido delineado para esclarecer esse mecanismo, algumas hipóteses podem ser levantadas. Uma delas é que o silício tenha alterado características fisiológicas ou estruturais da planta, tornando o hospedeiro menos favorável à alimentação dos afídeos e, ao mesmo tempo, favorecendo o desempenho do metomil nesse contexto. Outra possibilidade é que diferenças na formulação, no modo de ação do inseticida ou até mesmo nas características físicas do produto contendo silício, como tamanho de partícula, possam ter influenciado essa resposta. Assim, os resultados indicam que o silício potencializou o controle promovido pelo metomil, mas também mostram que os mecanismos envolvidos ainda precisam ser melhor investigados em estudos futuros, especialmente sob abordagem bioquímica e físico-química.

Mesmo quando algumas diferenças estatísticas não foram amplas, observou-se redução populacional em relação à testemunha, com destaque para os tratamentos associados ao silício, especialmente metomil + silício. Esse resultado tem importância agrônômica, porque pequenas reduções na população de pulgões já podem ser relevantes no manejo, não apenas pelo dano direto, mas também pelo potencial de transmissão de viroses. Ao longo do ciclo, também houve mudança na predominância das espécies: *Metopolophium dirhodum* foi mais frequente nos estádios vegetativos, enquanto *Sitobion avenae* passou a predominar a partir do espigamento (Figura 22) (Salvadori, 2001; Silva; Costa; Balardin, 2004).

Figura 22 – Relação entre os estádios fenológicos da cultura do trigo e a predominância das espécies de pulgões observadas.

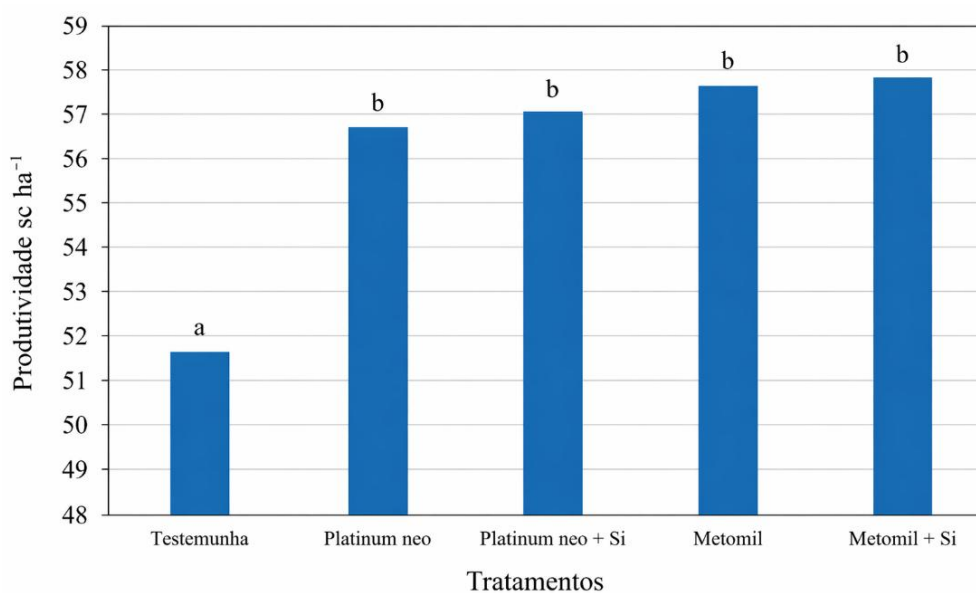


A interpretação desses resultados também precisa considerar o coeficiente de variação observado para essa variável ($CV = 19,14\%$). Em experimentos de campo com insetos, principalmente sugadores de distribuição agregada, é esperado que a variabilidade seja maior do que aquela observada em variáveis produtivas, já que a infestação raramente se distribui de forma uniforme entre as parcelas. Ainda assim, o CV obtido pode ser considerado aceitável para avaliações entomológicas em condições de campo, sem comprometer a confiabilidade da análise estatística.

O controle químico, independentemente da adição de Si, aumentou a produtividade do trigo em relação à testemunha. A testemunha produziu $51,57 \text{ sc ha}^{-1}$, enquanto os tratamentos com inseticidas variaram de $56,62$ a $57,79 \text{ sc ha}^{-1}$, com ganhos de $5,05$ a $6,22 \text{ sc ha}^{-1}$. O maior valor foi obtido com metomil + Si, mas, de forma geral, o principal resultado foi que o controle químico preservou o rendimento da cultura, com relevância agrônômica e econômica.

O peso hectolitro não foi influenciado pelos tratamentos, com valores entre $71,75$ e $73,52 \text{ kg hL}^{-1}$. Essa faixa é considerada adequada para trigo, indicando que, nas condições do ensaio, o principal efeito dos tratamentos ocorreu sobre a produtividade, e não sobre a qualidade física dos grãos. Do ponto de vista econômico, isso mostra que o manejo contribuiu para preservar rendimento sem alterar de forma relevante esse atributo de qualidade.

Figura 23 – Produtividade do trigo em função dos tratamentos aplicados no ensaio de pulgões.



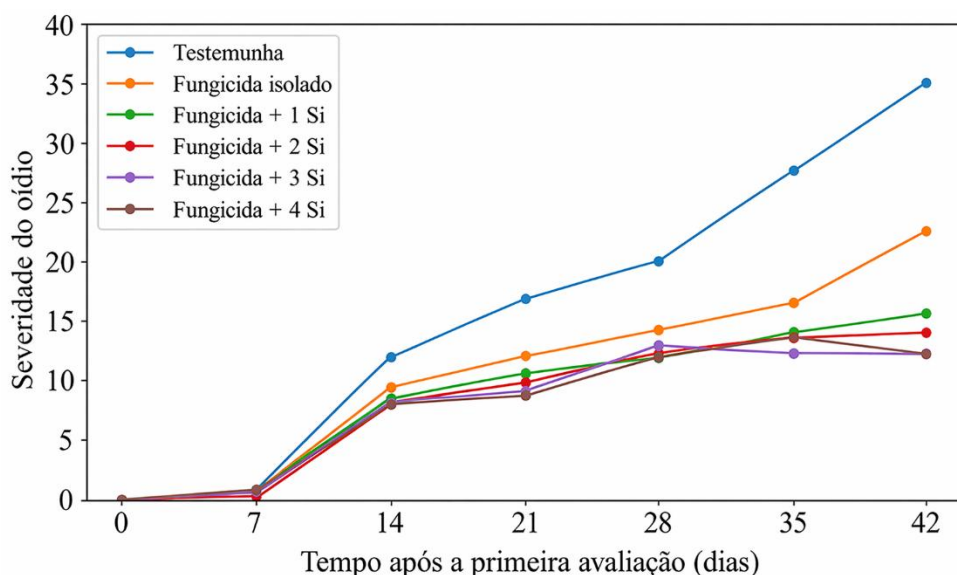
Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Fonte: O autor.

5.2 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DE OÍDIO E RENDIMENTO DO TRIGO

A severidade do oídio aumentou ao longo do período de avaliação em todos os tratamentos, mas esse avanço foi bem mais evidente na testemunha (Figura 24). Esse comportamento é compatível com a própria biologia de *Blumeria graminis* f. sp. *tritici*, um patógeno biotrófico e policíclico, capaz de realizar sucessivos ciclos de infecção durante o ciclo da cultura, principalmente quando encontra tecido vivo disponível e condições favoráveis ao seu desenvolvimento (Ferreira *et al.*, 2025).

Figura 24 – Progresso da severidade do oídio ao longo do tempo, em função dos tratamentos aplicados na cultura do trigo.



Fonte: O autor.

A curva de progresso da severidade mostra que a testemunha apresentou maior avanço da doença. Em doenças policíclicas, isso é particularmente importante, porque reduzir a taxa de progresso pode ser tão relevante quanto reduzir a severidade final, já que cada novo ciclo representa produção de inóculo e ampliação da doença no dossel.

Esse comportamento também se relaciona com o programa de aplicações utilizado no experimento. As pulverizações foram realizadas em intervalos de 14 dias, acompanhando estádios fenológicos estratégicos da cultura, com uso inicial de morfolinas e posterior aplicação de tebuconazol associado à trifloxistrobina. As morfolinas, como fenpropimorfe, e as piperidinas, como fenpropidina, são reconhecidas pela boa eficiência no manejo do oídio, principalmente por atuarem na biossíntese de esteróis do fungo, comprometendo a integridade

da membrana celular. Além disso, conforme Reis (2023), esses grupos podem apresentar importante ação curativa e até erradicante nas fases iniciais da doença, especialmente quando bem posicionados no início da epidemia.

Esse ponto ajuda bastante a interpretar os resultados obtidos (Tabela 4). Como o programa fungicida já foi eficiente em reduzir a severidade desde os primeiros momentos de avaliação, é possível que o efeito complementar do silício tenha ficado mascarado. Em outras palavras, as moléculas usadas no início do programa, especialmente morfolina (fenpropimorfe) e piperidina (fenpropidin), podem ter sido “fortes” demais para permitir que a ação do silício aparecesse com maior nitidez entre os tratamentos. Assim, a ausência de diferença entre fungicida isolado e fungicida associado ao silício não significa, necessariamente, ausência de efeito fisiológico do Si, mas pode refletir a forte ação inicial do programa químico sobre a doença.

A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) reforça essa interpretação. A testemunha apresentou o maior valor, com 280,26, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Já os tratamentos com fungicidas, isolados ou associados ao silício, apresentaram valores inferiores, variando de 207,72 a 170,88, todos pertencentes ao mesmo grupo estatístico pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dessa forma, o principal contraste observado foi entre a ausência e a presença de manejo químico, evidenciando que os fungicidas foram determinantes para reduzir o acúmulo de doença ao longo do ciclo.

Tabela 4 – Parâmetros avaliados no ensaio de oídio no trigo.

Tratamento	Parâmetros avaliados**			
	AACPD*	Peso hectolitro	Produtividade kg ha ⁻¹	Incremento de produtividade sc ha ⁻¹
Testemunha	280,26 a	72,65 a	3067,2 a	-
Fungicidas	207,72 b	73,65 a	3133,2 ab	1,1
Fungicidas + 1 Si	185,76 b	73,27 a	3327 ab	4,33
Fungicidas + 2 Si	175,26 b	73,35 a	3352,2 ab	4,75
Fungicidas + 3 Si	175,17 b	73,35 a	3358,2 b	4,85
Fungicidas + 4 Si	170,88 b	73,62 a	3363 b	4,93
CV%	14,2	0,92	3,81	-

*AACPD: área abaixo da curva de progressão da doença

**Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A AACPD é uma variável importante porque integra a severidade da doença e o tempo em que ela permaneceu ativa na planta. Assim, permite avaliar a pressão total da doença durante

o ciclo, e não apenas uma leitura isolada. No presente estudo, o maior valor observado na testemunha mostra que as plantas ficaram expostas por mais tempo a uma intensidade maior de doença, ilustrada no Figura 25. Já os tratamentos com fungicidas reduziram essa exposição, o que é coerente com resultados obtidos em ensaios cooperativos de oídio em trigo, nos quais os fungicidas avaliados reduziram tanto a severidade quanto a AACPD em relação à testemunha sem aplicação (Ferreira *et al.*, 2025).

Embora os tratamentos com silício não tenham diferido estatisticamente do fungicida isolado para AACPD, existe uma tendência numérica de redução da doença à medida que o silício foi sendo associado ao programa fungicida. O tratamento apenas com fungicidas apresentou AACPD de 207,72, enquanto os tratamentos com silício apresentaram 185,76; 175,26; 175,17 e 170,88. Essa sequência sugere que, mesmo sem separação estatística entre os tratamentos protegidos, houve redução progressiva da severidade acumulada nos tratamentos em que o silício foi incluído.

É possível interpretar que o silício apresentou comportamento compatível com efeito complementar, principalmente à luz do que já foi descrito na revisão de literatura. O Si pode reforçar tecidos, favorecer barreiras físicas à penetração do patógeno e modular respostas bioquímicas de defesa da planta, ainda que os mecanismos exatos dessa interação não estejam totalmente esclarecidos (Romero; Munévar; Cayón, 2011; Wang *et al.*, 2017).

No caso do oídio, essa interpretação é coerente por se tratar de um patógeno biotrófico, dependente de tecido vivo para colonização. Nas condições deste estudo, o efeito do silício é mais bem interpretado como estímulo a respostas fisiológicas da planta, possivelmente relacionadas ao aumento da lignificação e ao fortalecimento dos tecidos, do que como formação expressiva de barreira física por deposição de sílica. Esse efeito pode ter reduzido a predisposição da planta à penetração e à colonização inicial do fungo, enquanto os fungicidas atuaram diretamente sobre o patógeno.

Mesmo assim, como o programa químico adotado foi bastante eficiente, especialmente pelo uso inicial de morfolina e piperidina, o efeito do silício provavelmente apareceu mais como tendência biológica do que como diferença estatística clara. Isso reforça a ideia de que o silício não deve ser tratado como substituto do controle químico. Neste ensaio, o controle principal do oídio veio dos fungicidas, enquanto o silício apresentou um comportamento mais compatível com ferramenta complementar dentro do manejo.

O peso hectolitro não diferiu entre os tratamentos, com valores de 72,65 a 73,65 kg hL⁻¹, considerados adequados para trigo. Isso indica que os tratamentos não alteraram a qualidade

física dos grãos e que, para essa variável, as condições de ambiente provavelmente foram mais determinantes do que o efeito do manejo.

A produtividade apresentou resposta mais evidente, como ilustrada na Figura 26. A testemunha teve o menor rendimento, com 3067,2 kg ha⁻¹. O tratamento apenas com fungicidas apresentou 3133,2 kg ha⁻¹, permanecendo em posição intermediária. Já os tratamentos com fungicidas associados ao silício apresentaram produtividades superiores, variando de 3327 a 3363 kg ha⁻¹. Entre eles, os tratamentos Fungicidas + 3 Si e Fungicidas + 4 Si diferiram estatisticamente da testemunha, com produtividades de 3358,2 e 3363 kg ha⁻¹, respectivamente.

O incremento de produtividade reforça essa leitura. O fungicida isolado proporcionou aumento de 66 kg ha⁻¹ em relação à testemunha, enquanto os tratamentos com silício apresentaram incrementos de 259,8; 285; 291 e 295,8 kg ha⁻¹. Mesmo que nem todos esses tratamentos tenham diferido estatisticamente da testemunha, existe uma tendência agrônômica consistente de maior rendimento nas associações com silício. Esse comportamento sugere que o efeito do silício pode não ter se limitado apenas à redução visual da doença, mas também pode ter contribuído para a manutenção do desempenho fisiológico da planta, especialmente nos tratamentos em que a severidade acumulada foi numericamente menor.

Os resultados obtidos são coerentes com a importância do oídio como doença capaz de comprometer a área fotossintética ativa da planta. Com a evolução da doença, os tecidos infectados passam por clorose e necrose, o que reduz a assimilação de carbono e afeta o vigor da cultura, o perfilhamento, o enchimento de grãos e, conseqüentemente, a produtividade (Ferreira *et al.*, 2025).

O efeito produtivo observado não permite afirmar que o silício, isoladamente, tenha sido responsável pelo incremento de produtividade, já que todos os tratamentos com silício também receberam fungicidas. O manejo fungicida foi eficiente em reduzir a severidade acumulada da doença.

6. CONCLUSÕES

O manejo químico foi essencial para reduzir a população de pulgões e a severidade do oídio na cultura do trigo. No ensaio com pulgões, os inseticidas reduziram a infestação e resultaram em maior produtividade em relação à testemunha. No ensaio com oídio, os fungicidas foram eficientes em reduzir a AACPD e separar claramente a testemunha dos tratamentos protegidos.

O silício não substituiu o controle químico, mas apresentou comportamento complementar nos dois ensaios. No manejo de pulgões, sua associação aos inseticidas coincidiu com menores níveis de infestação. No ensaio de oídio, embora não tenha diferido estatisticamente do fungicida isolado para AACPD, mostrou tendência de redução numérica da doença e maior incremento produtivo quando associado ao programa fungicida.

No caso do oídio, a forte ação inicial das moléculas utilizadas, especialmente morfolina e piperidina, pode ter dificultado a visualização mais clara do efeito do silício sobre a doença. Ainda assim, os resultados de produtividade indicam que sua associação ao manejo químico foi agronomicamente favorável.

No ensaio com pulgões, os resultados também sugerem que o nível de controle tradicionalmente adotado para a cultura pode estar, ao menos em parte, defasado. Mesmo com média de infestação inferior ao valor de referência normalmente utilizado, a testemunha já apresentou perda de produtividade em relação aos tratamentos com controle, indicando que populações menores podem ser suficientes para causar danos em determinadas condições.

O peso hectolitro não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, indicando que, nas condições do experimento, os efeitos foram mais evidentes sobre a intensidade dos agentes bióticos e sobre a produtividade do que sobre a qualidade física dos grãos.

Assim, conclui-se que o silício tem potencial como ferramenta complementar no manejo de pulgões e oídio em trigo, principalmente quando associado ao controle químico. Ressalta-se, por fim, que tanto a severidade do oídio quanto a pressão de pulgões foram relativamente moderadas nas condições do presente ensaio, o que deve ser considerado na interpretação dos resultados.

7. REFERÊNCIAS

- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Rome: FAO, 2012. (ESA Working Paper, n. 12-03). Disponível em: <https://www.fao.org/3/ap106e/ap106e.pdf>. Acesso em: 22 maio 2025.
- BACKUS, E. A. *et al.*, **Characterization and correlational analysis of stylet penetration behaviors of aphids in relation to their potential as vectors of plant viruses**. *Journal of Insect Physiology*, v. 51, p. 749-759, 2005.
- BEGNA, T. **Effects of crop evolution under domestication and narrowing of genetic bases of cultivated species**. *Open Journal of Plant Science*, v. 6, p. 49-54, 2021.
- BIOTRIGO GENÉTICA. **Vírus do Nanismo Amarelo da Cevada (VNAC)**. Passo Fundo, 20 dez. 2022. Disponível em: <https://biotrigo.com.br/pergunta/virus-do-nanismo-amarelo/>. Acesso em: 20 abr. 2026.
- BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. (ed.). **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. 260 p.
- CONTE, P. A. **Programas de aplicação de fungicidas para o controle de oídio em trigo**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2022.
- CRUZ, I. **Manejo da resistência de insetos-praga a inseticidas, com ênfase em Spodoptera frugiperda (Smith)**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002.
- EPSTEIN, E. **Silicon**. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 50, p. 641-664, 1999.
- FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. de; SANTOS, L. A. (ed.). **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018.
- FERREIRA, A. *et al.*, **Eficiência de fungicidas para controle de oídio do trigo: resultados da Rede de Ensaios Cooperativos do Trigo - safra 2022**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2023. (Circular Técnica, 81).
- FERREIRA, A. *et al.*, **Eficiência de fungicidas para controle de oídio do trigo: Rede de Ensaios Cooperativos, safra 2023**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2024. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 114).
- FERREIRA, A. *et al.*, **Eficiência de fungicidas para controle de oídio do trigo na Rede de Ensaios Cooperativos, safra 2024**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2025. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 126).
- FERREIRA, E.; ÁVILA, C. J. **Manejo de insetos sugadores em grandes culturas**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2018.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.
- FIGUEROA, M. *et al.*, **A review of wheat diseases: a field perspective**. *Molecular Plant Pathology*, v. 19, n. 6, p. 1523-1536, 2018.

FRAC-BRASIL. **Como a resistência a fungicidas se desenvolve?** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.frac-br.org/informações-basicas>. Acesso em: 21 abr. 2026.

FUNDAÇÃO ABC. **O oídio do trigo merece nossa atenção!** Castro, PR, 6 maio 2022. Disponível em: <https://fundacaoabc.org/2022/05/06/o-oidio-do-trigo-merece-nossa-atencao/>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MA, J. F.; YAMAJI, N. **Silicon uptake and accumulation in higher plants**. Trends in Plant Science, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006.

MARQUES, L. **Oídio no trigo e na cevada: ciclo e condições favoráveis**. Elevagro, 19 fev. 2022. Disponível em: <https://elevagro.com/oidio-no-trigo-e-na-cevada-ciclo-e-condicoes-favoraveis/>. Acesso em: 20 abr. 2026.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 2012.

MENEGALE, M. L. de C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. **Silício: interação com o sistema solo-planta**. Journal of Agronomic Sciences, Umuarama, v. 4, n. esp., p. 435-454, 2015.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: Autor, 1998. 228 p.

NAGARATNA, W. *et al.*, **Effect of silicon and plant growth regulators on the biology and fitness of fall armyworm, Spodoptera frugiperda, a recently invaded pest of maize in India**. Silicon, v. 14, n. 3, p. 783-793, 2022.

NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; ZUCCHI, R. A. **Entomologia econômica**. São Paulo: [s. n.], 1981. 314 p.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDÖRFER, G. H. **Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 101-108, 2003.

PEREIRA, P. R. V. da S.; SALVADORI, J. R.; LAU, D. **Identificação de pulgões em trigo e outros cereais de inverno**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2007. 4 p. (Folder). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/842831>. Acesso em: 20 jun. 2025.

PICANÇO, M. C.; GONRING, A. H. R.; OLIVEIRA, I. R. de. **Manejo integrado de pragas**. Viçosa, MG: UFV, 2010.

ROMERO, A.; MUNÉVAR, F.; CAYÓN, G. **Silicon and plant diseases. A review**. Agronomía Colombiana, Bogotá, v. 29, n. 3, p. 473-480, 2011.

SALVADORI, J. R.; TONET, G. E. L. **Manejo integrado dos pulgões de trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001.

SILVA, D. B. *et al.*, **Trigo para o abastecimento familiar: do plantio à mesa**. Brasília: Embrapa SPI, 1996. 176 p.

SILVA, M. T. B. da; COSTA, E. C.; BALARDIN, R. S. **Reação de cultivares e eficiência do controle químico de pulgões vetores do Barley yellow dwarf virus em trigo**. *Ciência Rural*, v. 34, p. 1333-1340, 2004.

SILVA, M. Z. *et al.*, **Comportamento alimentar de afídeos e suas implicações no manejo integrado de pragas**. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 2, n. 1, p. 29-35, 2013.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **O estudo dos insetos**. 2. ed. brasileira. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 762 p.

VIVANCOS, J.; LABBÉ, C.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. **Silicon-mediated resistance of Arabidopsis against powdery mildew involves mechanisms other than the salicylic acid (SA)-dependent defence pathway**. *Molecular Plant Pathology*, v. 16, n. 6, p. 572-582, 2015.

WANG, L. *et al.*, **Silicon modulates multi-layered defense against powdery mildew in Arabidopsis**. *Phytopathology Research*, v. 2, art. 7, 2020.

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, art. 701, 2017.