



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN)**

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – ECOLOGIA E
BIODIVERSIDADE**

**POTENCIAL DE BIOINOCULANTE FÚNGICO NO CONTROLE DA
ANTRACNOSE E PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DA SOJA**

QUÉMILI CLEMENTINA SIMONE BRAND

Foz do Iguaçu
2025

**POTENCIAL DE BIOINOCULANTE FÚNGICO NO CONTROLE DA ANTRACNOSE E
PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DA SOJA**

QUÉMILI CLEMENTINA SIMONE BRAND

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Rafaella Costa Bonugli Santos.

Foz do Iguaçu
2025

QUÉMILI CLEMENTINA SIMONE BRAND

**POTENCIAL DE BIOINOCULANTE FÚNGICO NO CONTROLE DA ANTRACNOSE E
PROMOÇÃO DO CRESCIMENTO DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Rafaella Costa Bonugli Santos.

UNILA

Prof. Dr. Samuel Henrique Kamphorst

UENF

Prof. Dr. Felipe de Lemos

UNILA

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

Dedico este trabalho aos meus pais, minhas
inspirações diárias. Tudo o que sou e tudo o que
conquistei, começa com vocês.

AGRADECIMENTOS

A vida acadêmica é feita de escolhas, renúncias, descobertas e, sobretudo, de pessoas. E este trabalho só se concretizou graças a uma rede de apoio que caminhou comigo ao longo de toda essa jornada.

Aos meus pais, minha eterna gratidão. Obrigada por me incentivarem a sonhar alto, mesmo quando isso significava estar longe de vocês. Obrigada por entenderem esse processo, por me amarem incondicionalmente e, principalmente, por despertarem em mim, desde criança, a curiosidade e o desejo de entender o mundo. Foi de uma conversa simples sobre antracnose nos pés de uva do nosso parreiral, durante as colheitas em família, que nasceu o tema deste trabalho. Obrigada também pelo apoio financeiro, para compra de materiais para este projeto.

À minha querida amiga Larissa, que conheci no laboratório, dividimos bancadas, momentos, mal sabíamos que a vida nos tornaria inseparáveis. Agradeço por cada ajuda e por simplesmente estar ao meu lado, sempre. À sua mãe, Estefani, meu carinho e gratidão pela doação de materiais e por me acolher com tanto afeto.

Ao meu amigo Samuel, que iniciamos compartilhando projetos, bancadas, logo depois vieram os almoços deliciosos, histórias e momentos, obrigada por ser esse amigo presente em todas as horas, até naquelas bem ruins. Ao Mateo, por sua força de vontade, dedicação e parceria, sua ajuda foi indispensável para realizar esse trabalho. Ao Alex, por todos os seus ensinamentos e ajudas em análises, que enriqueceram minha formação.

Sempre tive influências poderosas para continuar o caminho acadêmico, e curiosamente, sempre femininas. Agradeço quem me trouxe para a área científica, Profa. Dra. Alessandra Millezi, que ainda no ensino médio me acolheu no laboratório. Foi com ela que aprendi a amar a ciência, a admirar seus desafios e a me encontrar na biologia. Se hoje estou concluindo este curso, é graças a você. À Profa. Dra. Daniela Parada Pavoni, minha supervisora de estágio, meu muito obrigada por me mostrar que sempre há mais a aprender, por me orientar com tanto carinho e por me motivar todos os dias, um presente para a vida.

Aos professores que mantiveram acesa minha vontade de continuar durante os períodos mais difíceis da graduação, em especial durante a pandemia, meu sincero reconhecimento. Ao Prof. Dr. Cleto, a quem carinhosamente chamo de pai; à Profa. Dra. Elaine, ao Prof. Dr. Fernando Zanella, ao Prof. Dr. Cristian, à Profa. Dra. Ana Alice, que me acolheu em seus projetos ainda caloura; e à minha orientadora, Profa. Dra. Rafaella Bonugli, obrigada por tantos projetos juntas e pela confiança em meu potencial, tudo que construímos foi extremamente enriquecedor para o meu desenvolvimento profissional.

Aos amigos que me sustentaram emocionalmente e tornaram o caminho mais leve,

Bárbara e Eliezer, junto com a Larissa, nosso “quarteto fantástico” foi minha salvação em tantos momentos. Agradeço também ao meu amigo Nicolas, o qual foi meu suporte especialmente no início da graduação e que me fez enxergar a Biologia com outros olhos.

Aos colegas de laboratório que dividiram conquistas e frustrações, agradeço pelo companheirismo e trocas constantes, especialmente à Angie, Raissa, Carla, Ema, Adrieli, Ângelo, Sabrina, Lucas, Bernie e tantos outros que passaram por essa jornada, com quem compartilhei projetos, aprendizados e laços verdadeiros.

Agradeço também aos Professores Doutores Samuel e Felipe, por aceitarem compor esta banca.

Por fim, agradeço a todos que torcem por mim. Cada palavra de incentivo e cada gesto de carinho fizeram a diferença. Sempre acreditei que mais importante que a quantidade é a qualidade, e disso, eu estou verdadeiramente satisfeita.

Muito obrigada.

*O papel do infinitamente pequeno na natureza é
infinitamente grande.*

Louis Pasteur

RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas agrícolas mais importantes mundialmente, sendo afetada por diversas doenças, entre elas a antracnose, causada por espécies do complexo *Colletotrichum* spp., cujas populações têm apresentado crescente resistência a fungicidas convencionais. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de controle biológico de um consórcio fúngico composto por *Clonostachys rosea*_CCMIBA37, *Purpureocillium lilacinum*_CCMIBA36 e *Bjerkandera* sp._CCMIBA38, imobilizados em carvão ativado, contra *Colletotrichum gloeosporioides*_CCMIBA24. Foram conduzidos ensaios em campo com a cultivar de soja IPR Pé-vermelho, testando diferentes combinações de aplicação do bioinoculante e do patógeno. O desenvolvimento das plantas foi acompanhado até o estágio fenológico R5, sendo avaliadas semanalmente altura total, área foliar e diâmetro do caule, além do peso seco da parte aérea e das raízes ao final do cultivo. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os resultados demonstraram que no consórcio fúngico, quando aplicado isoladamente, houve aumento significativo no diâmetro do caule e na área foliar. Os tratamentos contendo apenas o patógeno apresentaram as menores médias para as variáveis de crescimento, confirmando seu efeito fitopatogênico. Os demais tratamentos não apresentaram estatística significativa. Adicionalmente, foi conduzido um cultivo pareado *in vitro* para investigar o antagonismo direto entre os microrganismos do bioinoculante e o patógeno, sendo que o fungo *Bjerkandera* sp._CCMIBA38 se destacou como o antagonista mais promissor. Dessa forma, o consórcio fúngico avaliado apresenta potencial como bioinoculante, constituindo uma estratégia viável para o manejo sustentável na cultura da soja.

Palavras-chave: *Glycine max*; antracnose; controle biológico; fungos antagonistas; consórcio fúngico.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is one of the most important agricultural crops worldwide and is affected by several diseases, including anthracnose, caused by species of the *Colletotrichum* complex, whose populations have shown increasing resistance to conventional fungicides. Thus, this study aimed to evaluate the biological control potential of a fungal consortium composed of *Clonostachys rosea*_CCMIBA 37, *Purpureocillium lilacinum*_CCMIBA 36, and *Bjerkandera* sp._CCMIBA 38, immobilized in activated charcoal, against *Colletotrichum gloeosporioides*_CCMIBA24. Field trials were conducted using the soybean cultivar IPR Pé-vermelho, testing different combinations of bioinoculant and pathogen application. Plant development was monitored until the R5 phenological stage, with total height, leaf area, and stem diameter evaluated weekly, as well as shoot and root dry weight at the end of cultivation. Data were subjected to analysis of variance and Tukey's test ($p \leq 0.05$). The results demonstrated that the fungal consortium, when applied alone, significantly increased stem diameter and leaf area. Treatments containing only the pathogen presented the lowest mean values for growth variables, confirming its phytopathogenic effect. The remaining treatments showed no statistically significant differences. Additionally, paired in vitro culture was conducted to investigate direct antagonism between the bioinoculant microorganisms and the pathogen, with *Bjerkandera* sp._CCMIBA 38 standing out as the most promising antagonist. Therefore, the evaluated fungal consortium shows potential as a bioinoculant, representing a viable strategy for sustainable management in soybean cultivation.

Key words: *Glycine max*; anthracnose; biological control; antagonistic fungi; fungal consortium

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento da produção de soja (em milhões de toneladas) e da área cultivada (em milhões de hectares) no Brasil	18
Figura 2 - Produção de soja 2024/2025, com destaque para o Brasil, sendo o maior produtor mundial	19
Figura 3 - Comparativo da produção de soja no Brasil nos últimos oito anos, apresentando área cultivada (em milhões de hectares), produtividade média ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e produção total (em milhões de toneladas).....	20
Figura 4 - Germinação da soja: (A) semente recém-plantada; (B) início da germinação; (C) crescimento da radícula; (D) alongamento do hipocótilo e liberação dos cotilédones do tegumento; (E) cotilédones emergindo no solo; (F) surgimento do primeiro par de folhas; (G) cotilédones estendidos; (H) desenvolvimento das folhas primárias e alongamento da plântula.....	21
Figura 5 - Descrição dos estádios vegetativos e reprodutivos da soja.....	24
Figura 6 - Sintomas da antracnose na soja.....	31
Figura 7 - Cultivos para a obtenção do bioinóculo, sendo o pré-inóculo do fungo <i>Purpureocillium lilacinum</i> _CCMIBA36 (a) e o inóculo contendo o consórcio fúngico (b)..	47
Figura 8 - Vasos após a infecção do patógeno, envolvidos em sacos estéreis, nos respectivos tratamentos.....	49
Figura 9 - Medição da área foliar total da planta, estimada pelo aplicativo “Easy Leaf Area”.....	51
Figura 10 - Crescimento do fungo do consórcio <i>Purpureocillium lilacinum</i> _CCMIBA36.....	53
Figura 11 - Crescimento do fungo do consórcio <i>Clonostachys rosea</i> _CCMIBA37.....	53
Figura 12 - Crescimento do fungo do consórcio <i>Bjerkandera</i> sp._CCMIBA38.....	53
Figura 13 - Fungos do complexo <i>Colletotrichum</i> spp., sendo: a) <i>C. gloeosporioides</i> _CCMIBA24; b) <i>C. truncatum species complex</i> _CCMIBA86; c) <i>C. truncatum</i> _CCMIBA188 ou R125.....	54
Figura 14 - Testes de cultivo pareado, com avaliações em triplicata, sendo: a) Cultivos envolvendo o isolado patogênico <i>C. truncatum species complex</i> _CCMIBA86; b) Cultivos com o patógeno <i>C. gloeosporioides</i> _CCMIBA24; c) Cultivos com o patógeno <i>C. truncatum</i> _CCMIBA188 ou R125. As linhas apresentam, respectivamente: <i>Bjerkandera</i> sp._CCMIBA38 + patógeno; <i>C. rosea</i> _CCMIBA37 + patógeno; <i>P. lilacinum</i> _CCMIBA36 + patógeno; consórcio fúngico lado a lado + patógeno; consórcio fúngico em disposição triangular + patógeno	56
Figura 15 - Porcentagem média de inibição do crescimento radial (ICR) dos patógenos nos ensaios. Barras representam a média \pm desvio padrão. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....	57
Figura 16 - Porcentagem média de inibição do crescimento radial (ICR) dos patógenos nos ensaios, com fórmula incorporando ZI. Barras representam a média \pm desvio padrão. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....	58
Figura 17 - Sintomas observados nas plantas infectadas com <i>C. gloeosporioides</i> _CCMIBA24.....	62
Figura 18 - Altura total das plantas (cm) ao longo das semanas de avaliação nos diferentes tratamentos. Os valores representam a média \pm desvio padrão.....	63
Figura 19 - Evolução da área foliar total (cm^2) ao longo das semanas de avaliação nos diferentes tratamentos. Os valores representam a média \pm desvio padrão.....	66
Figura 20 - Evolução do diâmetro do caule (mm) ao longo das semanas, nos diferentes tratamentos. Os valores representam a média \pm desvio padrão	69

Figura 21 - Plantas conforme os seguintes tratamentos: Apenas bioinóculo (E1), apenas biochar (E2) e apenas solo (E6), respectivamente, mostrando que E1 se sobressaiu.....	70
Figura 22 - Plantas submetidas aos seguintes tratamentos: apenas patógeno (E5), biochar + patógeno (E4) e bioinoculante + patógeno (E3), respectivamente. Observa-se que o tratamento E3 apresentou melhor desempenho geral em comparação aos demais.....	71
Figura 23 - Peso seco da parte aérea e das raízes (g) nos diferentes tratamentos. Os valores representam a média \pm desvio padrão.....	72
Figura 24 - Sistema radicular das plantas, submetidas aos tratamentos: Patógeno + biochar (E4), patógeno + bioinóculo (E3), patógeno (E5) e apenas solo (E6), evidenciando diferenças no desenvolvimento das raízes.....	72
Figura 25 - Vista comparativa do desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular das plantas sob diferentes tratamentos: E4 (patógeno + biochar), E3 (patógeno + bioinóculo), E5 (apenas patógeno) e E6 (solo controle).....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos de cultivo pareado.....	44
Tabela 2 - Descrição dos tratamentos nos vasos.....	48
Tabela 3 - Notas utilizando a escala de Bell <i>et al.</i> (1982), onde 1: antagonista invadiu completamente a colônia do patógeno; 2: antagonista cresceu dois terços da superfície; 3: antagonista e patógeno colonizaram a metade da superfície; 4: patógeno colonizou dois terços da superfície, e, 5: patógeno invade completamente a colônia do antagonista	60
Tabela 4 - Modulação de hormônios por Fungos Patogénicos vs. Simbióticos.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

B.O.D	<i>Biological Oxygen Demand</i> (Incubadora tipo B.O.D., originalmente desenvolvida para ensaios de Demanda Bioquímica de Oxigênio, utilizada neste trabalho como estufa de crescimento fúngico)
CB	Controle Biológico
CCMIBA	Coleção de Cultura de Microrganismos de Importância Agrícola e Biotecnológica
CCMIBA24	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> _CCMIBA24
CCMIBA36	<i>Purpureocillium lilacinum</i> _CCMIBA36
CCMIBA37	<i>Clonostachys rosea</i> _CCMIBA37
CCMIBA38	<i>Bjerkandera</i> sp._CCMIBA38
CCMIBA86	<i>Colletotrichum truncatum species complex</i> _CCMIBA86
C.L	Consórcio crescido em placa, no lado oposto da placa, do patógeno
C.T	Consórcio crescido em placa, equidistantes, em formato triangular
g	Gramas
ha	Hectare
ICR	Inibição do Crescimento Radial
kg	Quilograma
MA2E	Extrato de Malte Enriquecido
mL	Mililitro
°C	Grau Celsius
R125	<i>Colletotrichum truncatum</i> _CCMIBA188 ou R125
UNILA	Universidade Federal da Integração Latino-Americana

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA E ECONÔMICA DA SOJA NO BRASIL	17
2.2 ASPECTOS BIOLÓGICOS E MORFOLÓGICOS DA SOJA	20
2.2.1 Germinação.....	21
2.2.2 Morfologia Vegetativa e Reprodutiva	22
2.2.3 Fenologia da Soja	23
2.2.4 Exigências Edafoclimáticas.....	25
2.3 FITOPATÓGENOS DA SOJA	26
2.3.1 <i>Colletotrichum</i> spp.	29
2.4 CONTROLE QUÍMICO DE FITOPATOLOGIAS.....	31
2.4.1 Controle Químico de <i>Colletotrichum</i> spp.....	32
2.5 CONTROLE BIOLÓGICO (CB).....	33
2.5.1 Fungos com Potencial de Biocontrole.....	36
2.5.1.1 <i>Clonostachys rosea</i>	36
2.5.1.2 <i>Purpureocillium lilacinum</i>	37
2.5.1.3 <i>Bjerkandera</i> sp.....	38
2.5.2 Biochar.....	39
3 OBJETIVO	41
3.1 OBJETIVO GERAL.....	41
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	41
4 METODOLOGIA	42
4.1. LOCAL DA PESQUISA	42
4.2 MICRORGANISMOS.....	42
4.2.1 Fitopatógenos	42
4.3 MÉTODO DE CULTIVO PAREADO.....	43
4.4 IMOBILIZAÇÃO NO CARVÃO ATIVADO E MONTAGEM DO BIOINOCULANTE ..	46
4.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DO POTENCIAL BIOINOCULANTE DO CONSÓRCIO FÚNGICO AO <i>Colletotrichum</i> spp.....	47
4.5.1 Variáveis Mensuradas.....	50
4.5.2 Análises Estatísticas	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1 CULTIVO PAREADO	55
5.1.1 Escala de Bell et al. (1982)	59
5.2 POTENCIAL DE ANTAGONISMO DO CONSÓRCIO FÚNGICO IMOBILIZADO NO CARVÃO ATIVADO, CONTRA O <i>Colletotrichum</i> sp. EM PLANTAS INFECTADAS	62
5.2.1 Infecção.....	62
5.2.2 Altura das plantas.....	63
5.2.3 Área foliar total	65

5.2.4 Diâmetro do caule	69
5.2.5 Peso seco	71
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A agricultura representa um dos principais pilares da economia brasileira, com destaque para a produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), onde o Brasil ocupa o posto de maior produtor mundial da oleaginosa, liderando tanto em área plantada quanto em volume de exportação nacional (CONAB, 2025; EMBRAPA, 2020). De acordo com o UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), no ano agrícola 2024/25 o Brasil liderou a produção com 169 milhões de toneladas, representando cerca de 40% da produção global, superando os Estados Unidos (28%) e Argentina (12%). Esse cenário, no entanto, é desafiado por fatores limitantes como a ocorrência de doenças fitopatogênicas, que comprometem a produtividade e a qualidade das safras em todas as regiões produtoras (Ghini; Hamada; Bettioli, 2011).

A expansão intensiva da soja, associada à falta de manejo fitossanitário adequado, favoreceu a disseminação de doenças causadas por fungos, bactérias e nematoides, sendo os fungos responsáveis pelas infecções mais prevalentes (Yuan *et al.*, 2024). O controle químico desses patógenos ainda é o mais amplamente utilizado, entretanto, seu uso intensivo tem provocado desequilíbrios ambientais, como o surgimento de populações resistentes, a contaminação de recursos hídricos, solos e alimentos, além de efeitos tóxicos sobre organismos não alvo e seres humanos (Mascarin *et al.*, 2019). Nesse contexto, métodos alternativos de manejo se mostram cada vez mais necessários (Sarzi *et al.*, 2019; Raza *et al.*, 2022).

O uso de agentes biológicos constitui uma abordagem mais sustentável para o controle de fitopatologias, ao explorar o potencial de microrganismos no controle biológico natural de doenças em plantas (Lima, 2024; Romeiro, 2007; Yuan *et al.*, 2024). O sucesso crescente das pesquisas com métodos biológicos de controle está relacionado não apenas à eficácia no controle de patógenos, mas também à capacidade desses organismos em promover a germinação de sementes e o desenvolvimento das plantas (Sarzi *et al.*, 2019). Além disso, os custos envolvidos no controle biológico correspondem, em média, a apenas um terço dos gastos com fungicidas e outros agroquímicos sintéticos (Mascarin *et al.*, 2019).

Diante desse contexto, torna-se essencial compreender, mesmo que teoricamente, os mecanismos de ação, a origem e o comportamento ecológico dos microrganismos envolvidos no controle biológico, bem como os principais fitopatógenos que acometem a cultura da soja. Além disso, é fundamental entender os aspectos relacionados

ao desenvolvimento da planta, que influenciam diretamente na interação com esses microrganismos e na eficácia das estratégias de controle adotadas.

Assim, este trabalho avaliou o potencial bioinoculante de um consórcio fúngico composto por isolados previamente selecionados em estudos que demonstraram resultados promissores tanto em biocontrole quanto em biorremediação, especialmente quando imobilizados em carvão ativado (Siqueira, 2024). Os fungos *Bjerkandera* sp._CCMIBA38, *Clonostachys rosea*_CCMIBA37 e *Purpureocillium lilacinum*_CCMIBA36 foram então testados quanto à sua atividade antagonista frente ao complexo *Colletotrichum* spp., que inclui espécies de importância fitopatogênica, em cultivos de soja conduzidos em vasos e em ensaios *in vitro*. Os microrganismos utilizados pertencem à Coleção de Cultura de Microrganismos de Importância Biotecnológica e Ambiental (CCMIBA), vinculada à UNILA.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA E ECONÔMICA DA SOJA NO BRASIL

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), (família Fabaceae, terceira maior família de plantas), é originária do nordeste da China e constitui uma das culturas mais antigas do mundo. Sua domesticação ocorreu há mais de 5.000 anos, com posterior difusão gradual para diferentes regiões do mundo (Lima, 2024).

No Brasil, seu cultivo ocorre há mais de 135 anos (Lima, 2024). Os primeiros relatos da oleaginosa no país remontam ao estado da Bahia, em 1882, por D'Ultra. No entanto, a cultura não apresentou boa adaptação às condições climáticas locais (Silva *et al.*, 2022). Todavia, foi no estado do Rio Grande do Sul que a soja encontrou condições mais favoráveis para seu desenvolvimento, sendo introduzida por E. C. Craig, professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), para fins de pesquisa científica. A partir de 1935, a produção alcançou escala comercial no estado, com exportações destinadas à Alemanha. Na década de 1960, a soja já estava sendo cultivada com sucesso em toda a região Sul do país (Sediyama, 2009).

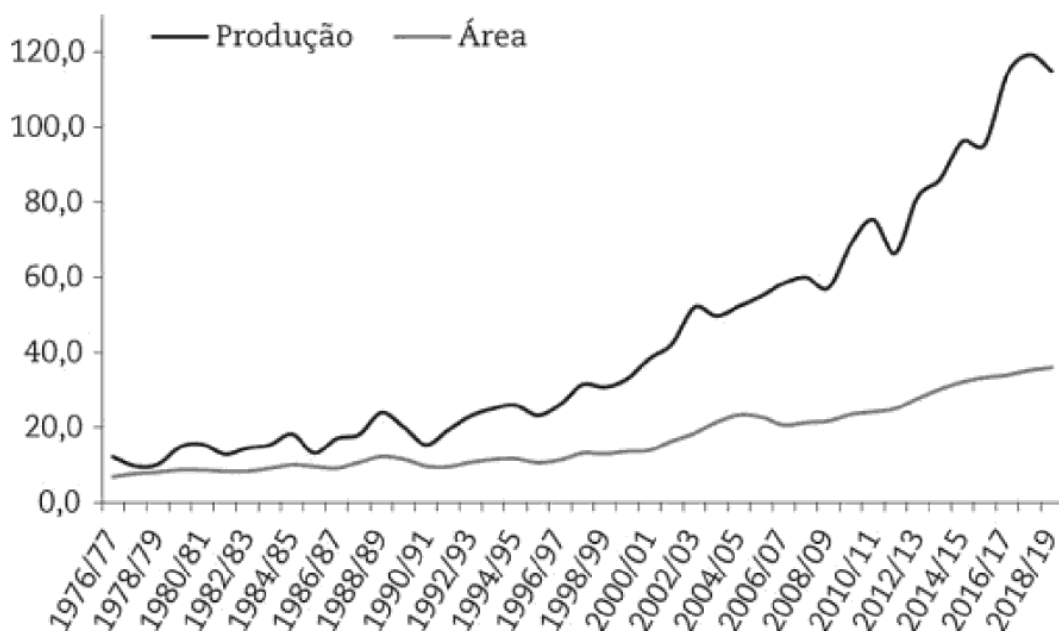
Avanços nas pesquisas de melhoramento genético e implementação de fitotécnicas foram determinantes para a consolidação do cultivo da soja em diversas regiões do território nacional (Sediyama 2009). Instituições públicas e privadas tiveram papel essencial no aperfeiçoamento e implementação do cultivo em larga escala, com destaque

para Universidades, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) entre outras. Os principais focos das pesquisas envolveram adaptações às diferentes condições climáticas, aumento da produtividade, resistência a pragas e doenças, além da determinação das melhores épocas de semeadura (Silva *et al.*, 2022). Dessa forma, novas cultivares foram desenvolvidas e expandindo-se para outras regiões do país (Wysmierski; Vello 2013).

Nenhuma outra cultura agrícola no Brasil recebeu tantos investimentos em pesquisas e programas estatais quanto a soja, provocando mudanças significativas no cenário econômico (Wysmierski; Vello 2013), devido ao seu elevado teor de proteínas, que varia entre 30% e 53% nos grãos, ao seu óleo vegetal extraído e à sua ampla utilização na alimentação humana e animal (Silva *et al.*, 2022).

A partir da década de 1970, a soja apresentou expressivo crescimento no Brasil, tanto em termos de produção quanto de área cultivada (Figura 1). A produção ultrapassou 12 milhões de toneladas em meados dessa década (Sediyama 2009), quando a área cultivada se aproximava de sete milhões de hectares, com produtividade média de 1.748 kg·ha⁻¹. Nas décadas seguintes, além da expansão territorial, o aumento da produtividade foi decisivo, refletindo avanços em genética, práticas de manejo e tecnologia agrícola.

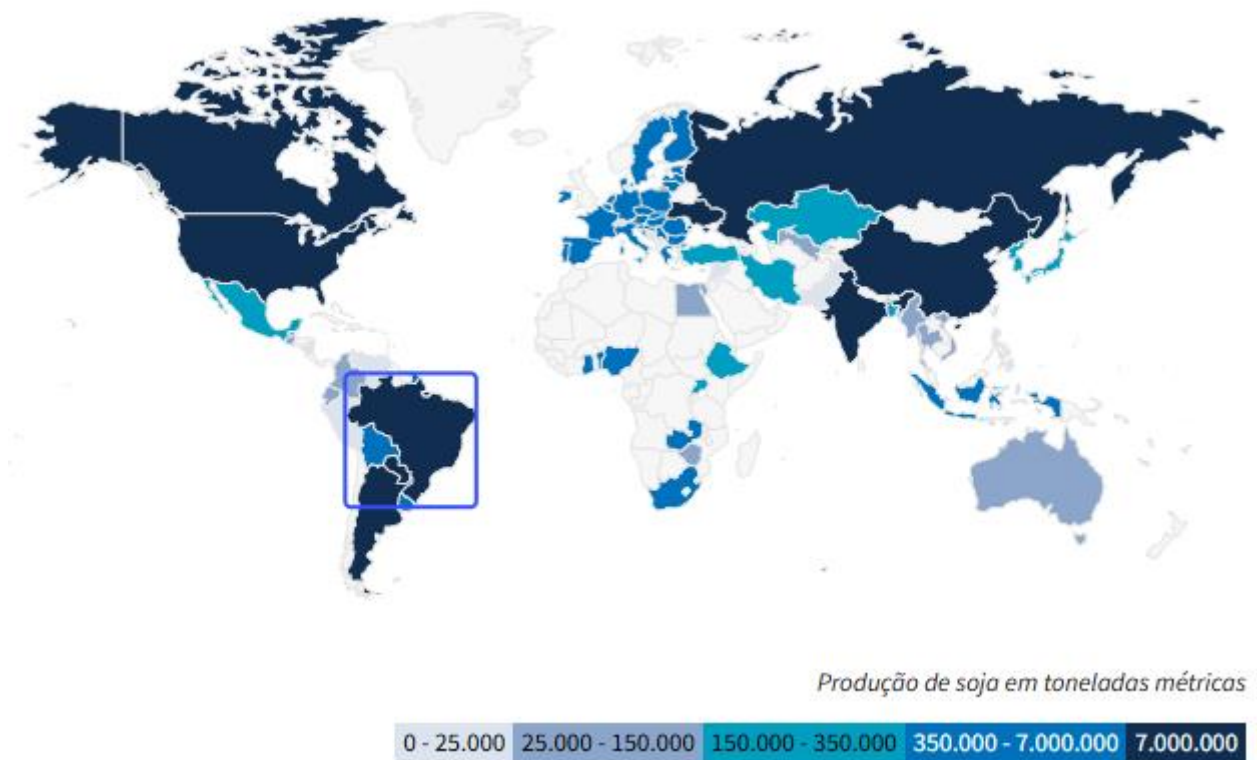
Figura 1 - Crescimento da produção de soja (em milhões de toneladas) e da área cultivada (em milhões de hectares) no Brasil



Fonte: SILVA (2022), a partir de dados da CONAB (2020).

Atualmente, o Brasil está entre as nações mais competitivas do mundo na produção de *commodities*, sendo o maior produtor mundial de soja (Figura 2). A sojicultura brasileira exibe resultados notáveis, com números expressivos, refletindo sua enorme relevância econômica para o país, com 169,49 milhões de toneladas produzidas segundo o último levantamento, da safra 2024/25 (Figura 3). A área plantada foi de 47,61 milhões de hectares, com uma produtividade estimada em 3.560 kg/ha, liderando também o ranking de país que mais destina áreas para o plantio dessa oleaginosa (CONAB, 2025).

Figura 2 - Produção de soja 2024/2025, com destaque para o Brasil, sendo o maior produtor mundial



Fonte: USDA (2024).

Figura 3 - Comparativo da produção de soja no Brasil nos últimos oito anos, apresentando área cultivada (em milhões de hectares), produtividade média (kg·ha⁻¹) e produção total (em milhões de toneladas)

SAFRA	ÁREA (em mil ha)	PRODUTIVIDADE (kg/ha)	PRODUÇÃO (em mil t)
2018/19	35.874	3.337	119.718,1
2019/20	37.229,7	3.381	125.884,2
2020/21	39.762	3.525	140.179,3
2021/22	41.793,8	3.026	126.479,6
2022/23	44.384	3.508	155.713,4
2023/24	46.148,8	3.201	147.718,7
2024/25	Jun./25	47.619,8	169.605,8
	Jul./25	47.614,9	169.487,9

Fonte: CONAB (2025).

2.2 ASPECTOS BIOLÓGICOS E MORFOLÓGICOS DA SOJA

A soja é uma herbácea anual, autógama, de crescimento ereto, com folhas trifoliadas e ampla variabilidade para suas características morfológicas (Zhou *et al.*, 2022). As vagens são pubescentes, com coloração variando do cinza ao marrom, geralmente achatadas, retas ou levemente curvadas, medindo de 2 a 7 cm de comprimento, contendo de uma a cinco sementes (Vieira, 2020). As sementes apresentam variedade de formas, incluindo lisas, ovais e globosas, apresentando cores em tons entre amarelo, preto e verde. Normalmente, são observadas alturas da planta variando de 30 cm a 200 cm, dependendo da cultivar e das condições de cultivo (Silva *et al.*, 2022).

A soja possui raiz pivotante bem desenvolvida, com emissão de raízes secundárias. O caule apresenta nós e entrenós, sendo que em cada nó há uma folha e uma gema axilar, da qual podem surgir ramos ou inflorescências (Calixto, 2020).

Durante o seu desenvolvimento, a planta exibe três tipos distintos de folhas, inicialmente as cotiledonares, seguidas pelas folhas unifolioladas, e, posteriormente, as trifolioladas, que se diferenciam entre si quanto ao tamanho, formato e posicionamento (Calixto, 2020).

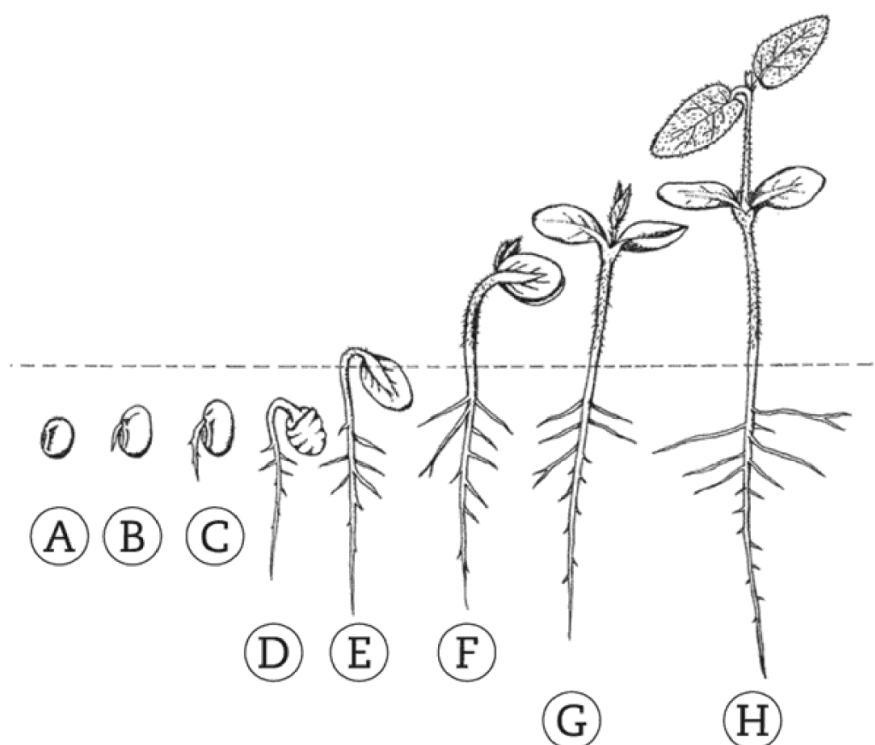
Seu ciclo de vida entre emergência e maturação varia entre 70 a 200 dias (Vieira, 2020). Quando ocorre a maturação das plantas, o conteúdo de água das sementes fica próximo a 13%, e então se inicia o processo de colheita. As sementes colhidas passam por uma criteriosa seleção, padronização e limpeza, culminando no ensaque. Pode ocorrer o tratamento dos grãos com fungicidas ou inseticidas, para evitar riscos de contaminação

pós colheita (Silva *et al.*, 2022).

2.2.1 Germinação

A germinação da soja depende principalmente de condições adequadas de temperatura, luminosidade, disponibilidade de oxigênio, características físicas e químicas do solo, além de umidade suficiente. A água é absorvida por toda a superfície da semente, desencadeando os processos metabólicos que culminam no início do desenvolvimento vegetal (Neumaier *et al.*, 2020), conforme observado na Figura 4.

Figura 4 - Germinação da soja: (A) semente recém-plantada; (B) início da germinação; (C) crescimento da radícula; (D) alongamento do hipocótilo e liberação dos cotilédones do tegumento; (E) cotilédones emergindo no solo; (F) surgimento do primeiro par de folhas; (G) cotilédones estendidos; (H) desenvolvimento das folhas primárias e alongamento da plântula



Fonte: SILVA *et al.* (2022).

A soja apresenta germinação do tipo epigéia, no qual os cotilédones são elevados acima do solo por meio do alongamento do hipocótilo. Em condições ideais de umidade e temperatura entre 25 °C e 30 °C, a emergência ocorre entre 3 a 7 dias após a semeadura, sendo inibida em temperaturas inferiores a 10 °C ou superiores a 40 °C

(Lamichhane *et al.*, 2020).

A radícula se desenvolve primeiramente, penetrando o solo em direção vertical por meio do geotropismo positivo de seu ápice, originando a raiz principal. Em seguida, ocorrem as ramificações secundárias. Simultaneamente, o hipocótilo cresce acima da superfície do solo (Calixto, 2020).

O tegumento se desprende da semente antes da emergência. Quando os cotilédones entram em contato com a luz, inicia-se a formação de pigmentos fotossinteticamente ativos, responsáveis pela coloração esverdeada da planta. Antes da expansão horizontal dos cotilédones, emerge o primeiro par de folhas, que se afastam gradualmente do nó cotiledonar à medida que o epicótilo se desenvolve (Silva *et al.*, 2022).

2.2.2 Morfologia Vegetativa e Reprodutiva

A soja apresenta de 2 a 35 flores hermafroditas por inflorescência, do tipo racemo axilar. As flores são compostas, pequenas, de coloração geralmente branca, roxa ou violeta (Silva *et al.*, 2022). A antese ocorre preferencialmente nas horas mais frescas do dia e é influenciada por fatores como fotoperíodo, temperatura e disponibilidade hídrica. A floração pode durar de 3 a 5 semanas, dependendo da cultivar e das condições ambientais, sendo uma fase extremamente sensível a estresses abióticos (Thenveettil *et al.*, 2024).

O sistema reprodutivo da soja é predominantemente autógamo, com a autofecundação garantindo a estabilidade genética das cultivares. No entanto, há registros de alogamia natural em porcentuais baixos (Silva *et al.*, 2022). O florescimento tem início entre 30 a 45 dias após a emergência (Zhou *et al.*, 2022).

Após a fecundação, desenvolvem-se as vagens, estruturas alongadas e pubescentes que protegem as sementes em formação. Cada vagem pode conter de 1 a 5 sementes, com predominância de 2-3 por fruto. O desenvolvimento das sementes ocorre em sincronia com a maturação fisiológica da planta (Zhou *et al.*, 2022). Durante essa fase, a fixação biológica de nitrogênio, realizada por rizóbios simbióticos, desempenha papel crucial no fornecimento de nutrientes essenciais para o enchimento dos grãos (Calixto, 2020).

Enquanto ocorre o enchimento de grãos, há intensa atividade fisiológica, caracterizada pela translocação de assimilados produzidos nas folhas para os órgãos reprodutivos. O acúmulo de massa seca nas sementes continua até que atinjam a maturidade fisiológica, quando o teor de umidade atinge aproximadamente 35%, e a planta começa a apresentar sinais visuais de senescência (Neumaier *et al.*, 2020). A colheita, por

sua vez, é indicada quando as sementes atingem cerca de 13% de umidade, condição ideal para armazenamento e comercialização (Silva *et al.*, 2022).

2.2.3 Fenologia da Soja

A caracterização dos estádios de desenvolvimento é essencial para o planejamento e a condução adequada do sistema de produção, pois possibilita a adoção de estratégias de manejo em momentos oportunos. A padronização das terminologias fenológicas permite que produtores e pesquisadores utilizem uma linguagem comum, facilitando a comunicação, a adoção de boas práticas agrícolas e a comparação entre estudos científicos (Fehr; Caviness, 1978).

O ciclo da soja é dividido por duas fases principais, a vegetativa (V) e a reprodutiva (R). Suas subdivisões são feitas com base no número de folhas e nós da haste principal, bem como no aparecimento de estruturas florais, vagens e grãos. A escala mais amplamente adotada é a proposta por Fehr e Caviness (1977), representada na Figura 5.

Figura 5 - Descrição dos estádios vegetativos e reprodutivos da soja

Estádios	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Cotilédones estão acima da superfície do solo
VC	Cotiledonar	Folhas unifolioladas suficientemente estendidas, de tal modo que os bordos não se tocam
V1	Primeiro nó	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Folha trifoliolada completamente desenvolvida, localizada no nó acima dos nós das folhas unifolioladas
V3	Terceiro nó	Três nós sobre a haste principal com folhas completamente desenvolvidas, iniciando-se a contagem dos nós a partir dos nós das folhas unifolioladas
Vn	Enésimo nó	n número de nós sobre a haste principal com folhas completamente desenvolvidas, iniciando-se a contagem dos nós a partir dos nós das folhas unifolioladas
R1	Início da floração	Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal
R2	Floração plena	Flor aberta e um dos dois últimos nós da haste principal com folha completamente desenvolvida
R3	Início da formação da vagem	Vagem com 5 mm de comprimento em um dos quatro últimos nós superiores com folha completamente desenvolvida sobre a haste principal
R4	Vagem completamente desenvolvida	Vagem com 20 mm de comprimento em um dos quatro últimos nós superiores com folha completamente desenvolvida sobre a haste principal
R5	Início da formação da semente	Semente com 3 mm de comprimento em uma vagem localizada em um dos quatro últimos nós superiores com folha completamente desenvolvida sobre a haste principal
R6	Semente completamente desenvolvida	Vagem contendo semente verde, preenchendo a cavidade da vagem localizada em um dos quatro últimos nós superiores com folha completamente desenvolvida sobre a haste principal
R7	Início da maturação	Vagem normal sobre a haste principal que tenha atingido a cor da vagem madura
R8	Maturação plena	95% de vagens que tenham atingido a cor de vagem madura. Após R8, são necessários de 5 a 10 dias de tempo seco para que a semente de soja apresente menos de 15% de umidade

Fonte: FEHR; CAVINESS (1977), extraído de SILVA *et al.* (2022).

A fase vegetativa tem início com a emergência da plântula (VE), marcada pela elevação dos cotilédones acima da superfície do solo. Em seguida, ocorre o estágio VC, quando os cotilédones se abrem completamente. A partir daí, os estádios são numerados sequencialmente (V1, V2...Vn), com base no número de nós com folhas trifolioladas totalmente desenvolvidas no caule principal, até o início da floração (Fehr; Caviness, 1977; Neumaier *et al.*, 2020).

A fase reprodutiva inicia-se com o estágio R1, correspondente à abertura

da primeira flor. Os estádios seguintes são: R2 (floração plena), R3 e R4 (formação e desenvolvimento de vagens), R5 e R6 (enchimento dos grãos), e R7 e R8, que indicam a maturidade fisiológica e total da planta, respectivamente (Fehr; Caviness, 1977).

É importante destacar que o período entre os estádios R3 e R6 é considerado o mais crítico do ciclo da soja, pois a planta apresenta alta exigência por água e nutrientes. Estresses hídricos ou térmicos nesse período podem causar reduções severas na produtividade. Além disso, a duração do ciclo varia entre 70 e 200 dias, dependendo da cultivar, fotoperíodo e condições climáticas (Neumaier *et al.*, 2020).

2.2.4 Exigências Edafoclimáticas

A soja exige solos profundos, bem estruturados e com textura média, que favoreçam o desenvolvimento do sistema radicular, permitindo maior absorção de água e nutrientes (Calixto, 2020). É fundamental que o solo apresente boa drenagem, pois o encharcamento pode comprometer o crescimento das raízes e aumentar a suscetibilidade a doenças radiculares (Neumaier *et al.*, 2020).

A radiação solar é um dos fatores mais limitantes para o crescimento da cultura, influenciando diretamente processos como fotossíntese, alongação da haste principal, expansão foliar e enchimento de grãos (Fehr; Caviness, 1978). A soja desenvolve-se melhor sob temperaturas entre 20 °C e 30 °C, com a faixa ótima de crescimento situada em torno de 30 °C (EMBRAPA, 2021).

O fotoperíodo, que representa o número de horas de luz diária absorvida, regula o ciclo da soja, impactando especialmente a transição entre os estádios vegetativo e reprodutivo. Quando exposta a dias curtos, inferiores ao fotoperíodo crítico da cultivar, a planta entra em florescimento de forma antecipada; sob dias longos, o desenvolvimento vegetativo é prolongado (Sediyama, 2009). Por esse motivo, a cultura é geralmente semeada na primavera/verão, com o plantio iniciando entre os meses de setembro e outubro e floresce em condições de dias mais curtos, durante o verão (Neumaier *et al.*, 2020).

A disponibilidade hídrica é determinante para todas as fases do ciclo, sendo mais crítica durante a germinação, emergência e floração. Para que a germinação ocorra, a semente precisa absorver cerca de 50% do seu peso em água (Silva *et al.*, 2022). As exigências hídricas aumentam progressivamente até o enchimento de grãos, fase em que se observa o pico da demanda por água, diminuindo a partir da maturação (Neumaier *et al.*, 2020).

Apesar de ser uma das culturas mais adaptadas e o principal cultivo no país, a soja ainda é vulnerável a intempéries climáticas, o que pode provocar perdas quantitativas significativas (Ghini; Hamada; Bettiol 2011). Além disso, o manejo fitossanitário é considerado um dos maiores drenos econômicos no cultivo, devido à presença de pragas e fitopatógenos que comprometem o potencial produtivo e, em casos graves, inviabilizam a safra (CONAB 2022; EMBRAPA 2021).

2.3 FITOPATÓGENOS DA SOJA

A soja está amplamente distribuída no mundo e, com a expansão de seu cultivo para diferentes ambientes, tornou-se alvo de uma ampla gama de patógenos. Esses organismos podem acometer todos os estádios de desenvolvimento e distintas partes da planta, fazendo das doenças um importante fator limitante da produtividade (Sarzi *et al.* 2019).

A cultura é acometida por doenças causadas por diversos grupos de patógenos, incluindo bactérias, vírus, nematoides e, principalmente, fungos (Yu *et al.*, 2022). Os fungos representam os agentes mais preocupantes, devido à sua ampla disseminação e dificuldade de controle. Muitos deles produzem estruturas de resistência, como escleródios, esporos ou clamidósporos, que permitem sua sobrevivência prolongada em condições ambientais adversas (Angelotti; Hamada, 2017; Preisigke *et al.*, 2017). Os fungos fitopatógenos mais importantes da soja estão no Quadro 1.

Quadro 1 - Principais fungos causadores de doenças da soja

Nome comum	Organismos Causais
Antracnose	<i>Colletotrichum truncatum</i>
Mancha marrom	<i>Septoria glycinas</i>
Podridão de carvão	<i>Macrophomina phaseolina</i>
Queima de vagens e caules	<i>Diaporthe sojae</i> , <i>Diaporthe</i> spp.
Decomposição de sementes de <i>Phomopsis</i>	<i>Diaporthe longicolla</i> , <i>Diaporthe sojae</i> , <i>Diaporthe</i> spp.
Cancro do caule	<i>Diaporthe caulivora</i> , <i>Diaporthe aspalathi</i> , <i>Diaporthe</i> spp.
Amortecimento de <i>Pythium</i> e podridão da raiz	<i>Pythium ultimum</i> , <i>P. aphanidermatum</i> , <i>P. irregolare</i> , <i>P. torulosum</i>
Mancha foliar olho de sapo/rã	<i>Cercospora sojina</i>
Podridão radicular por <i>Fusarium</i>	<i>Fusarium</i> spp.
Podridão da raiz e do caule de <i>Phytophthora</i>	<i>Phytophthora sojae</i>
Mancha roxa nas sementes/ <i>Cercospora</i>	<i>Cercospora kikuchii</i>
Síndrome da morte súbita	<i>Fusarium virguliforme</i>
Mancha aérea por <i>Rhizoctonia</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>
Ferrugem asiática da soja	<i>Phakopsora pachyrhizi</i>
Podridão do caule de <i>Sclerotinia</i> (mofo branco)	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
Podridão parda do caule	<i>Phialophora gregata</i>

Modificado de: HOSSEINI; VOEGELE; LINK (2023).

A ocorrência de qualquer fitopatologia, no entanto, depende da interação de três fatores fundamentais, sendo eles, a presença de um patógeno virulento, um hospedeiro suscetível e condições ambientais favoráveis. Essa relação é conhecida como triângulo da doença, sendo um conceito central na epidemiologia vegetal (Almeida et al., 2005).

Com base na localização dos sintomas e no comportamento dos agentes etiológicos, os patógenos da soja podem ser agrupados em duas grandes categorias, os que atacam a parte aérea da planta e os que habitam o solo. As doenças da parte aérea são frequentemente observadas no campo e causam sintomas visíveis em folhas, hastes, vagens e cotilédones. Já os patógenos de solo comprometem principalmente raízes e plântulas, afetando a emergência, o vigor inicial e, em muitos casos, predispondo a planta

a infecções secundárias ou morte prematura (Hosseini; Voegelé; Link, 2023).

Os sintomas típicos de doenças foliares são manchas foliares, necroses e ferrugens, que comprometem diretamente a área fotossintética da planta, acelerando a senescência e diminuindo o acúmulo de assimilados nos grãos, impactando negativamente a produtividade. Esses danos ocorrem especialmente nas fases reprodutivas, quando o metabolismo da planta está voltado para o enchimento das sementes (Calixto, 2020).

Já os sintomas de doenças em decorrência de patógenos de solo geralmente observa-se o tombamento de plântulas, podridão radicular, murchas e amarelecimento (Angelotti; Hamada, 2017). Os fungos podem sobreviver por longos períodos no solo ou em restos culturais, devido à formação de estruturas de resistência, como escleródios, clamidósporos e micélio dormente, dificultando seu controle (Ajayi-oyetunde; Bradley, 2018). A infecção por esses patógenos pode desencadear uma série de respostas bioquímicas nas plantas, pois afetam diretamente o sistema radicular da soja, prejudicando a absorção de água e nutrientes essenciais, o que compromete processos fisiológicos essenciais (Lima, 2024).

Na região Oeste do Paraná, as principais doenças reportadas em soja são a antracnose (*Colletotrichum truncatum*), septoriose ou mancha-parda (*Septoria glycines*), oídio (*Microsphaera diffusa*), crestamento foliar de cercospora (*Cercospora kikuchii*), mancha olho-de-rã (*Cercospora sojina*) e ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) (Roese *et al.*, 2001).

Dentre as doenças, destacam-se as chamadas doenças de final de ciclo (DFC), que incluem a antracnose, septoriose e crestamento foliar de cercospora. Essas enfermidades manifestam-se geralmente nas fases reprodutivas da cultura, reduzindo a produtividade ao afetarem diretamente a formação e enchimento de grãos. A antracnose é a principal doença que afeta a fase inicial de formação das vagens (Almeida *et al.*, 2005).

O manejo eficiente das doenças da soja exige estratégias integradas, incluindo o uso de cultivares resistentes, tratamento de sementes, rotação de culturas, manejo adequado do solo e aplicação criteriosa de fungicidas, preferencialmente guiada por monitoramento e diagnóstico fitopatológico precoce, a fim de garantir eficiência e sustentabilidade na produção (EMBRAPA, 2021; Yu *et al.*, 2022).

2.3.1 *Colletotrichum* spp.

Os fungos do gênero *Colletotrichum* (Teleomorfo: *Glomerella*) estão amplamente distribuídos em ambientes tropicais e subtropicais, sendo amplamente reconhecidos por causar doenças economicamente importantes, denominadas antracnoses (Motta, 2018). O gênero apresenta mais de 200 espécies, algumas claramente definidas, mas existem vários complexos (Hosseini; Voegelé; Link, 2023). Esse grupo é caracterizado tanto por sua alta variabilidade morfológica quanto pela amplitude de hospedeiros, uma mesma espécie pode infectar diferentes plantas, e também, um único hospedeiro pode ser colonizado por várias espécies de *Colletotrichum* (Menezes, 2013). *Colletotrichum* spp. são agentes causadores de antracnose em mais de 3.000 espécies de plantas e estão entre os 10 principais patógenos fúngicos (Hosseini; Voegelé; Link, 2023).

A antracnose da soja foi relatada pela primeira vez no Brasil, em 1961, no estado do Rio Grande do Sul (Motta, 2018). Atualmente, é uma das doenças economicamente mais importantes que afetam a sojicultura, estando disseminada em diversos cultivos ao redor do mundo (Dias *et al.*, 2018). É considerada a principal doença que afeta a formação de vagens, sendo encontrada em todas as regiões produtoras do mundo, especialmente em áreas com condições de altas precipitações e temperaturas, acarretando danos que se estendem desde a folha, caule, vagem ao grão (Almeida *et al.*, 2005).

Além de *C. truncatum*, diversas outras espécies têm sido associadas à antracnose da soja, formando um complexo etiológico com elevada capacidade de infecção, que pode comprometer significativamente a produtividade, chegando, em casos severos, à perda total da lavoura (Almeida *et al.*, 2005). Apesar dos avanços no reconhecimento dessas espécies, a etiologia da doença ainda não está totalmente esclarecida. Essa lacuna de conhecimento sobre o patossistema soja-*Colletotrichum* representa um obstáculo para o desenvolvimento de estratégias de controle eficazes (Almeida *et al.*, 2005).

A espécie mais frequentemente associada à antracnose da soja sendo considerada o principal agente causal da doença em escala global, é *Colletotrichum truncatum* (Schwein.) Andrus & Moore (sin. *C. dematium* var. *truncata*) caracterizada pela produção de conídios falciformes (Forseille, 2007). No entanto, há ainda outras 11 espécies associadas ao desenvolvimento da antracnose, como *C. gloesporioides*, *C. coccodes*, *C. cliviae*, *C. destructivum*, *C. graminicola* (Barbieri *et al.*, 2017), *C. plurivorum*, *C. sojae*, *C.*

musicola, *C. chlorophyti*, *C. incanum* e *C. brevisporum* (Hosseini; Voegelé; Link, 2023). Apesar dessa diversidade, *C. truncatum* ainda se destaca como a espécie mais prevalente nos cultivos brasileiros (Dias *et al.*, 2018).

O complexo *Colletotrichum* spp. apresenta alta variabilidade morfológica e biológica, o que dificulta sua identificação precisa e compromete o entendimento dos aspectos epidemiológicos da doença. Esses fungos apresentam a capacidade de estabelecer infecções latentes, nas quais as plantas permanecem assintomáticas por longos períodos. Os sintomas, nesse caso, tendem a se manifestar apenas em estádios mais avançados do desenvolvimento (Motta, 2018). O patógeno pode se desenvolver silenciosamente no interior dos tecidos corticais da planta, sem expressão visível, até que condições climáticas favoráveis desencadeiem sua atividade patogênica (Almeida *et al.*, 2005).

Infecções mais severas tendem a ocorrer a partir do estágio V1, embora os sintomas geralmente só se tornem visíveis a partir do início da floração (Calixto, 2022). A suscetibilidade da planta ao patógeno é maior quando a infecção ocorre precocemente, nos estádios V1-V2, enquanto em fases mais avançadas, como V5-V6, observa-se menor vulnerabilidade (Motta, 2018).

A principal fonte de inóculo da antracnose da soja são sementes infectadas e restos culturais remanescentes de safras anteriores, sendo uma das primeiras doenças a se estabelecerem. No entanto, a infecção pode ocorrer em todos os estádios de desenvolvimento da planta, já que o patógeno possui elevada capacidade de dispersão, sendo facilmente disseminado por respingos de chuva, vento e outros agentes ambientais que transportam os esporos fúngicos (Dias *et al.*, 2018).

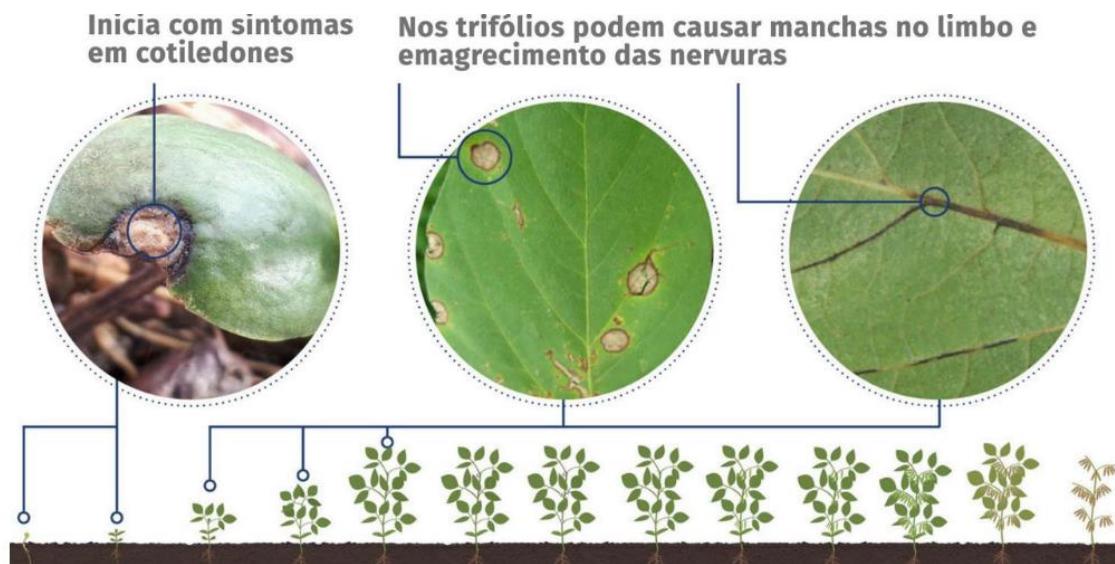
A antracnose apresenta maior ocorrência em condições de alta umidade, especialmente quando há presença de água livre sobre o limbo foliar. A introdução e disseminação do patógeno ocorrem, principalmente, por meio de sementes infectadas; contudo, o fungo também é capaz de sobreviver como saprófito em restos culturais ou em hospedeiros alternativos, mantendo-se viável entre as safras (Hartman *et al.*, 2015). Em condições ambientais favoráveis, é comum a formação de estruturas de frutificação denominadas acérvulos, visíveis na superfície dos tecidos infectados (Calixto, 2022).

O sistema de plantio direto, amplamente utilizado atualmente, geralmente alterna o cultivo da soja na primavera/verão com o milho (*Zea mays*) no outono/inverno. No entanto, a repetição frequente dessas culturas em sucessão, com o retorno anual da soja na mesma área, pode configurar uma monocultura rotacional, favorecendo a sobrevivência

de fungos necrotróficos nos resíduos culturais deixados na lavoura (Motta, 2018). Os restos culturais da soja podem levar até 35 meses para se decompor completamente, e o gênero *Colletotrichum* destaca-se como um dos principais fungos saprófitos presentes nesses resíduos, mantendo-se viável no solo entre as safras (Reis *et al.*, 2011).

Em plântulas, a antracnose pode causar lesões nos cotilédones e hipocótilo, podendo também causar o apodrecimento das sementes ainda antes da emergência (Motta, 2018). Nos estádios V1 e V2, é comum o tombamento de mudas, enquanto na face abaxial das folhas podem surgir nervuras necrosadas, com formato variando de angular a alongado, apresentando coloração entre marrom e avermelhado (Calixto, 2020). A presença de acérvulos e cerdas escuras nessa mesma região foliar é uma característica diagnóstica importante, podendo também ser observada em caules, pecíolos e vagens (Almeida *et al.*, 2005), conforme Figura 6. Em estádios mais avançados de desenvolvimento, a doença pode provocar necroses generalizadas nos pecíolos, folhas, hastes e vagens (Motta, 2018).

Figura 6 - Sintomas da antracnose na soja



Fonte: BAYER (2024).

2.4 CONTROLE QUÍMICO DE FITOPATOLOGIAS

A soja está presente em todas as regiões brasileiras, de norte a sul, leste a oeste (CONAB, 2022). No entanto, seu cultivo é altamente dependente da aplicação de defensivos agrícolas para o controle de pragas e doenças. O uso de produtos químicos tornou-se uma prática inevitável, impulsionada principalmente pela necessidade de

aumento da produtividade para atender à crescente demanda por alimentos (David, 2023).

Entre os métodos de controle fitossanitário, o químico é o mais amplamente utilizado, por ser relativamente acessível, de rápida ação e alta eficácia imediata (Kohler, 2022). Apesar da eficiência, o uso intensivo e, muitas vezes, indiscriminado desses produtos, acarreta sérios impactos ambientais. Seus resíduos podem causar danos diretos e indiretos à fauna, flora e à microbiota do solo, além de afetar as propriedades físico-químicas e biológicas dos ecossistemas agrícolas (Morillo; Villaverde, 2017). Estima-se que menos de 0,1% dos pesticidas aplicados atinja de fato o alvo biológico, enquanto o restante se dispersa no ambiente, contaminando solo, água e ar (Patinha *et al.*, 2017).

Outro fator preocupante é o surgimento de populações resistentes aos defensivos agrícolas, um dos principais entraves ao controle químico de doenças em plantas (Motta, 2018). Essa resistência compromete a eficácia dos produtos e exige doses maiores ou a introdução de novos princípios ativos, elevando os custos de produção e os riscos ambientais (Patinha *et al.*, 2017).

Com a estimativa de que a população mundial ultrapasse 9,5 bilhões de pessoas até 2050, a produção agrícola precisará aumentar cerca de 60% para atender à demanda global por alimentos (Saath; Fachinello, 2018). Diante desse cenário, torna-se urgente o investimento em tecnologias alternativas de manejo, como o uso de agentes de controle biológico e insumos sustentáveis, que possam reduzir a dependência de agroquímicos, preservar a biodiversidade e aumentar a resiliência das lavouras (David, 2023).

2.4.1 Controle Químico de *Colletotrichum* spp.

A antracnose encontra-se amplamente disseminada nas regiões produtoras de soja no Brasil. Diante da alta incidência e da dificuldade de erradicação da doença, o controle químico tornou-se uma medida necessária para preservar os níveis de produtividade da cultura (Calixto, 2020; Ito, 2013). As estratégias de manejo da antracnose incluem o uso de sementes saudáveis e resistentes, tratamento de sementes, rotação de culturas, adubação potássica equilibrada e, sobretudo, o controle químico (Silva, 2018). Dentre essas práticas, o tratamento com fungicidas continua sendo o método mais adotado pelos produtores (Motta, 2018).

O tratamento de sementes com fungicidas é fundamental para prevenir infecções iniciais, uma vez que sementes contaminadas podem comprometer a germinação e o vigor das plântulas (Dias *et al.*, 2018). Contudo, devido à elevada frequência do

patógeno em áreas de cultivo, a pulverização foliar tem sido a principal técnica empregada no controle da doença, especialmente pela facilidade de aplicação e resposta rápida (Silva, 2018).

Os fungicidas aplicados geralmente contêm um ingrediente ativo, responsável pela ação sobre o patógeno, e um ingrediente inerte, que atua como veículo ou diluente (Silva, 2018). Dependendo do grupo químico e do mecanismo de ação, esses compostos podem provocar a morte do fungo ou apenas inibir seu crescimento micelial e/ou a esporulação (Motta, 2018). Atualmente, são utilizadas formulações comerciais com princípios ativos pertencentes aos grupos químicos benzimidazóis, triazóis, estrobilurinas e carboxamidas (BRASIL, [s.d.]).

Entretanto, estudos recentes apontam uma queda na eficácia desses produtos contra *Colletotrichum* spp. (Kohler, 2022). Essa dificuldade está associada tanto à escassez de informações sobre o patossistema soja-*Colletotrichum* quanto à diversidade de espécies envolvidas, que apresentam respostas distintas aos tratamentos químicos. Além disso, o uso intensivo de determinados princípios ativos, sem um manejo adequado, tem contribuído para o desenvolvimento de populações resistentes (Castro, 2019). A rápida adaptação de populações fúngicas têm demonstrado redução da sensibilidade aos fungicidas, o que exige o uso de produtos com diferentes mecanismos de ação e encarece o manejo (Motta, 2018).

Nesse cenário, torna-se essencial o investimento em estratégias alternativas, como o uso de agentes de biocontrole, especialmente fungos antagonistas, visando um controle mais sustentável e eficaz da antracnose (Kohler, 2022).

2.5 CONTROLE BIOLÓGICO (CB)

O controle biológico consiste no uso de organismos vivos ou seus metabólitos com capacidade de reduzir a população ou a ação de um patógeno específico, por meio de diferentes mecanismos de interação (Eilenberg *et al.* 2001; Parra *et al.*, 2024). Esses mecanismos incluem competição por espaço e nutrientes, produção de substâncias antimicrobianas, indução de resistência em plantas hospedeiras e interrupção do ciclo de vida do patógeno (Liu *et al.*, 2016).

Esse tipo de controle é um fenômeno natural, pois todas as espécies interagem com inimigos naturais ao longo de seus ciclos de vida, o que pode ser explorado de forma aplicada (Parra *et al.*, 2024). Segundo Lenteren *et al.* (2011), controle biológico é o uso de um organismo para reduzir a população de outro. Assim, microrganismos

antagonistas podem ser utilizados com efeitos biocidas (morte do patógeno) ou biostáticos (inibição do crescimento) (Zambolim, 2010).

Embora muitas vezes tratado como inovação recente, há registros históricos do uso de CB desde o século III a.C., quando formigas eram utilizadas para o controle de desfolhadores na China. Um marco importante ocorreu em 1888, com o uso da joaninha *Rodolia cardinalis* para controle do pulgão-branco-dos-citros nos Estados Unidos. No Brasil, o primeiro registro de introdução de um inimigo natural para esse fim foi em 1921, e depois, mais casos ocorreram (Parra *et al.*, 2024), conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Introdução e uso das primeiras espécies antagonistas naturais para controle biológico no Brasil

Praga alvo	Ano de introdução	Origem	Inimigo natural
<i>Pseudaulacaspis pentagona</i> - cochonilha	1921	EUA	<i>Encarsia berlesei</i> - vespa
<i>Hypothenemus hampei</i> - broca do café	1923	Continente africano	<i>Prorops nasuta</i> - vespa
<i>Eriosoma lanigerum</i> - pulgão	1928	Uruguai	<i>Aphelinus mali</i> - vespa
<i>Ceratitis capitata</i> - mosca da fruta	1937	EUA (Havaí)	<i>Tetrastichus giffardianus</i> - vespa
<i>Grapholita molesta</i> - mariposa oriental	1944	EUA	<i>Macrocentrus ancyliworius</i> - vespa
<i>Antonina graminis</i> - cochonilha	1967	EUA	<i>Neodusmetia sangwani</i> - vespa
<i>Diatraea saccharalis</i> - broca da cana de açúcar	Anos 70	Trinidad e Tobago, Paquistão	<i>Cotesia flavipes</i> - vespa
Pulgões do trigo	Anos 70	Vários países	Parasitoides
<i>Tuta absoluta</i> - traça do tomateiro	Anos 90	Colômbia	<i>Trichogramma pretiosum</i> - vespa
<i>Phyllocnistis citrella</i> - mariposa	1998	EUA	<i>Ageniaspis citricola</i> - vespa

Fonte: Modificado de: PARRA *et al.* (2024).

Atualmente, o CB é considerado uma alternativa viável e crescente para reduzir o uso de defensivos químicos. Ele vem apresentando resultados promissores, especialmente pela sua efetividade, especificidade e menor impacto ambiental (Bettiol; Morandi, 2009; Ferraz *et al.*, 2010). O Brasil é atualmente líder mundial na produção e uso de tecnologias de biocontrole (EMBRAPA, 2019; Bettiol; Medeiros, 2023).

Nos últimos anos, além dos avanços científicos, diversos produtos comerciais à base de microrganismos têm sido desenvolvidos e aplicados em campo, especialmente fungos filamentosos com ação contra doenças importantes em diversas culturas agrícolas, sendo uma “solução necessária” (Bettiol; Morandi, 2009).

Entre os principais agentes biológicos utilizados no controle de doenças em plantas, destacam-se fungos e bactérias com reconhecida atividade antagonista. O gênero *Trichoderma* spp. é amplamente utilizado por sua capacidade de inibir fitopatógenos e estimular o crescimento vegetal (Manjula *et al.*, 2024). *Clonostachys rosea* atua por micoparasitismo direto, produzindo enzimas hidrolíticas e metabólitos antifúngicos (Mascarin *et al.*, 2022). Bactérias como *Bacillus* spp. têm se mostrado eficazes no controle de doenças radiculares e também promovem o desenvolvimento das plantas (Sun *et al.*, 2023). As leveduras, por sua vez, destacam-se pela rápida colonização, produção de compostos inibidores e baixa toxicidade ambiental, o que as torna alternativas promissoras aos fungicidas sintéticos (Kohler, 2022).

A formulação de tecnologias sustentáveis para manejo de doenças é cada vez mais imprescindível e representa uma tendência no setor agrícola (Mello *et al.*, 2007). O uso de microrganismos antagonistas no controle de fitopatógenos é uma alternativa viável especialmente diante da crescente resistência de patógenos a fungicidas e dos impactos negativos associados ao uso prolongado de químicos (Dow *et al.*, 2023).

Além da ação direta sobre patógenos, muitos desses microrganismos atuam de forma benéfica na planta, promovendo a absorção de nutrientes e produção de hormônios vegetais como ácido indolacético (AIA), citocininas e giberelinas, contribuindo para o desenvolvimento e vigor vegetal (Shuping; Eloff, 2017).

Para o sucesso do CB, é essencial que o microrganismo antagonista tenha um nicho ecológico compatível com o patógeno (Lima, 2024). Além disso, é desejável que o antagonista seja: 1) capaz de competir com o patógeno em seu ambiente; 2) resistente a variações nas condições do meio; 3) incapaz de causar prejuízos ao homem e animais; 4) apto para aplicação em diferentes culturas e ação contra diferentes patógenos; 5) de fácil cultivo, reprodução, aplicação e formulação (Bettiol; Morandi, 2009; Morandi *et al.*, 2006).

2.5.1 Fungos com Potencial de Biocontrole

Os fungos desempenham papel essencial no equilíbrio ecológico e têm grande importância agrícola, atuando na decomposição de matéria orgânica, degradação de substâncias tóxicas e promoção do crescimento vegetal (Abreu *et al.*, 2015). Além disso, produzem metabólitos secundários como forma de defesa contra microrganismos patogênicos, os quais vêm sendo amplamente estudados para aplicação na produção de antibióticos e no controle de pragas (Lima, 2024).

Diversas pesquisas demonstram o potencial promissor de fungos no campo da biodegradação. Certos grupos fúngicos possuem características celulares que favorecem processos de bioabsorção e degradação de compostos complexos (Dhankhar; Hooda, 2011). São organismos de fácil cultivo, o que facilita sua manipulação em laboratório e, além disso, a maioria das espécies fúngicas não representa risco patogênico (Zapana-Huarache *et al.*, 2020).

Fungos biocontroladores apresentam mecanismos de ação diversificados, atuando contra fitopatógenos por meio de um ou mais mecanismos, como competição, micoparasitismo e produção de metabólitos voláteis e não voláteis, o que contribui para maior estabilidade e um amplo espectro de ação (Calixto, 2020). Além da atividade antagônica, também promovem o crescimento vegetal e estimulam mecanismos de defesa da planta (Bezerra *et al.*, 2019; Bortolin *et al.*, 2019).

2.5.1.1 *Clonostachys rosea*

Clonostachys rosea é um fungo saprofítico e não patogênico, pertencente ao filo Ascomycota, amplamente distribuído nos solos e capaz de estabelecer relações endofíticas com plantas. Essa espécie é amplamente reconhecida por seu potencial de biocontrole contra uma variedade de fitopatógenos, incluindo *Colletotrichum* spp. (Rodriguez *et al.*, 2011; Sun *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2018).

Como saprófito, *C. rosea* coloniza resíduos vegetais no solo, onde suprime o crescimento e a esporulação de patógenos vegetais, contribuindo para a redução do inóculo patogênico e promovendo um ambiente menos favorável à infecção (Da Silva *et al.*, 2021). Essa ação ocorre, principalmente, por meio de mecanismos de micoparasitismo, nos quais cepas de *C. rosea* produzem e secretam metabólitos secundários com atividade antimicrobiana, como os peptaibols, além de enzimas degradadoras de parede celular (CWDEs), como quitinases e β -1,3-glucanases. Essas enzimas atuam diretamente na

destruição da parede celular de fungos fitopatogênicos (Da Silva *et al.*, 2021; David, 2023; Liu, 2016). Além disso, algumas cepas também liberam toxinas ou antibióticos que enfraquecem ou eliminam o patógeno alvo (Sun *et al.*, 2020).

Devido a esses mecanismos, cepas micoparasitárias de *Clonostachys rosea* têm sido utilizadas como agentes de controle biológico em importantes culturas agrícolas. Outro diferencial relevante dessa espécie é sua alta tolerância a toxinas microbianas e a fungicidas sintéticos, o que potencializa sua aplicabilidade em condições agrícolas reais, inclusive como complemento ou alternativa ao uso de agroquímicos convencionais (Da Silva *et al.*, 2021).

Durante seu ciclo de vida, *C. rosea* produz duas formas distintas de esporos, os conídios e os clamidósporos. Os conídios, presentes em conidióforos, podem ser de dois tipos, ramificados verticiladamente ou penicilamente. Já os clamidósporos são estruturas de resistência geradas em resposta a condições ambientais adversas, como pH extremos e baixas temperaturas, sendo significativamente maiores e mais resistentes que os conídios. As colônias de *C. rosea* também apresentam variações de coloração conforme o meio de cultivo e as condições ambientais, podendo ir do branco-acinzentado ao amarelo ou laranja (Sun *et al.*, 2020).

No entanto, apesar de seu notável potencial, as aplicações práticas de *Clonostachys rosea* ainda são limitadas. O gênero representa uma promissora fonte de soluções biotecnológicas que carecem de maior exploração científica, especialmente no contexto do manejo integrado de doenças em culturas economicamente relevantes, como a soja (Sun *et al.*, 2020).

2.5.1.2 *Purpureocillium lilacinum*

O *Purpureocillium lilacinum* é um fungo do filo Ascomycota, de distribuição cosmopolita, amplamente encontrado em diversos ambientes terrestres e marinhos. Naturalmente presente no solo e na rizosfera de diferentes culturas agrícolas, destaca-se por sua adaptabilidade, crescendo em uma ampla faixa de temperaturas e pH, além de tolerar variados tipos de substrato (Chen; Hu, 2021). O *P. lilacinum* adota estilos de vida flexíveis, podendo atuar como sapróbio do solo, endófito de plantas ou ainda como patógeno de nematoides (Khan; Tanaka, 2023).

Esse fungo é reconhecido por seu potencial como agente de controle biológico, especialmente contra nematoides fitopatogênicos, insetos e alguns fungos causadores de doenças. Diversos estudos demonstram sua capacidade de infectar todos

os estádios de vida de nematoides formadores de galhas, como *Meloidogyne incognita*, um patógeno de grande importância agrícola (Khan; Tanaka, 2023).

O mecanismo de ação de *P. lilacinum* envolve a produção de enzimas hidrolíticas, como serina, proteases e quitinases, que atuam na degradação da parede celular de hospedeiros, facilitando a penetração e colonização dos tecidos (Elsheerbiny *et al.*, 2019; Chen; Hu, 2021). Além disso, o fungo produz metabólitos bioativos com propriedades antagônicas, contribuindo para sua eficácia como agente biocontrolador (Rigobelo *et al.*, 2024).

Na cultura da soja, estudos indicam que *P. lilacinum* pode desempenhar papel benéfico adicional ao controle de pragas, promovendo o crescimento radicular, aumentando a disponibilidade de fósforo e nitrogênio no solo e favorecendo a absorção de nutrientes pela planta (Rigobelo *et al.*, 2024). Ensaios também demonstraram que solos previamente inoculados com o fungo apresentaram redução significativa na formação de galhas nas raízes causadas por *M. incognita*, reforçando seu potencial como alternativa sustentável no manejo de doenças de solo (Chen; Hu, 2021).

Dessa forma, *Purpureocillium lilacinum* é considerado um dos agentes de biocontrole mais promissores no manejo integrado de pragas e doenças, combinando eficácia no combate a patógenos com efeitos positivos no desenvolvimento vegetal (Khan; Tanaka, 2023).

2.5.1.3 *Bjerkandera* sp.

O gênero *Bjerkandera*, pertencente ao filo Basidiomycota, compreende fungos saprofitos comumente classificados como "fungos da podridão branca", devido à sua capacidade de degradar eficientemente a lignina e outros componentes lignocelulósicos da madeira. Essa habilidade é atribuída ao seu sistema enzimático, que inclui lacases, peroxidases e outras enzimas oxidativas, conferindo a esses fungos um grande potencial biodegradador, já que também apresentam tolerância a ambientes contaminados por metais pesados (Wang; Vlasák; Dai, 2021).

A espécie mais representativa do gênero é *Bjerkandera adusta*, amplamente distribuída em regiões temperadas e tropicais, geralmente encontrada em madeira morta de angiospermas. Embora tradicionalmente estudada por seu uso em processos de biorremediação e biodegradação de compostos orgânicos persistentes, como corantes industriais e hidrocarbonetos, *B. adusta* vem despertando crescente interesse na área do controle biológico de fitopatógenos (Heinfling *et al.*, 1988; Wang; Vlasák; Dai, 2021).

Estudos recentes sugerem que *B. adusta* apresenta mecanismos de ação que podem ser explorados no manejo de doenças de plantas, como competição por espaço e nutrientes, micoparasitismo, indução de resistência sistêmica e produção de metabólitos antifúngicos. Em particular, há evidências de sua eficácia na inibição de *Fusarium spp.*, um importante patógeno agrícola, o que aponta para um uso potencial em programas de CB (Feng *et al.*, 2021).

Dessa forma, embora o uso de *Bjerkandera sp.* como agente de biocontrole ainda seja incipiente, seu efeito incorporado em consórcios com fungos já consagrados no CB, como *Clonostachys rosea* e *Purpureocillium lilacinum*, pode representar uma abordagem promissora no desenvolvimento de estratégias sustentáveis para o manejo integrado de doenças em culturas agrícolas. O uso combinado desses microrganismos pode ampliar o espectro de ação, aproveitando os diferentes mecanismos antagonistas de cada espécie, *Bjerkandera sp.* com seu potencial na biorremediação de compostos poluentes, enquanto os ascomicetos podem maximizar seus efeitos com foco na aplicação em controle biológico.

2.5.2 Biochar

O biochar, também conhecido como carvão ativado vegetal, é um material carbonáceo obtido a partir da pirólise de biomassa em condições controladas de baixa ou ausência de oxigênio. Ele tem ganhado destaque na agricultura sustentável devido à sua versatilidade e aos diversos benefícios agrônômicos e ambientais que oferece (Janu *et al.*, 2021).

Sua aplicação no solo contribui para o aumento da produtividade, melhoria da estrutura física e retenção de água, além de estimular o crescimento de plantas e a atividade microbiana benéfica (Janu *et al.*, 2021). Por ser rico em carbono estável e matéria orgânica, o biochar favorece o desenvolvimento da microbiota do solo e tem sido apontado como um indutor do crescimento de micorrizas arbusculares, fundamentais na absorção de nutrientes pelas plantas (De Paula, 2020; Solaiman *et al.*, 2019).

Além de suas propriedades como condicionador de solo, o biochar possui um elevado potencial de adsorção, atribuível à sua alta porosidade, grande área superficial específica e estabilidade química (Janu *et al.*, 2021). Essas características permitem que ele atue como um filtro natural, adsorvendo agroquímicos e poluentes do solo, o que reduz processos de lixiviação e o risco de contaminação de águas subterrâneas e superficiais. Sua superfície contém sítios com cargas e características hidrofóbicas variadas,

possibilitando interações seletivas com herbicidas como diuron, atrazina, bromoxil e ametrina, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais negativos desses compostos (Zhelezova; Cederlund; Stenström, 2017).

Uma ampla gama de materiais pode ser utilizada como matéria-prima para a produção de biochar, sendo os resíduos de origem vegetal os mais empregados devido à sua alta disponibilidade e baixo custo (Weber; Quicker, 2018). Isso o torna um componente importante na lógica da economia circular, por viabilizar a reciclagem de resíduos agrícolas e a recuperação de nutrientes, reduzindo a dependência de insumos sintéticos (Janu *et al.*, 2021).

Além de seus usos agrícolas, o biochar também possui aplicabilidade em contextos industriais e ambientais, como em processos de remediação de solos contaminados por metais pesados e compostos orgânicos persistentes, sequestro de carbono atmosférico e até em sistemas de tratamento de água (Zhelezova; Cederlund; Stenström, 2017).

Dessa forma, o biochar representa uma tecnologia multifuncional, de baixo custo e muitos impactos positivos, especialmente quando integrado a práticas de manejo sustentável. Pode servir como matriz para imobilização e manutenção da viabilidade de microrganismos benéficos, prolongando sua ação no ambiente. Essa característica o torna um carreador eficiente para bioinoculantes, garantindo maior estabilidade e desempenho dos agentes de biocontrole em condições de campo. Assim, a integração entre fungos antagonistas e biochar não apenas potencializa o manejo de fitopatógenos, mas também contribui para a promoção da saúde do solo e da cultura, em uma abordagem sustentável e de baixo impacto ambiental (Weber; Quicker, 2018).

Considerando que o biochar atua como matriz estável para imobilização e manutenção da viabilidade de fungos antagonistas, favorecendo sua ação supressiva sobre fitopatógenos, e que também pode modificar atributos do solo, este trabalho propõe avaliar um consórcio fúngico imobilizado em carvão ativado como alternativa sustentável para o manejo de doenças na cultura da soja. A seguir, são apresentados os objetivos que nortearam este estudo.

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial bioinoculante de um consórcio fúngico composto por *Purpureocillium lilacinum*_CCMIBA36, *Clonostachys rosea*_CCMIBA37, e *Bjerkandera sp.*_CCMIBA38, *in vitro* e *in vivo*, imobilizados em carvão ativado, verificando o potencial de controle de fungos do complexo *Colletotrichum* spp, responsáveis por causar a antracnose.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reativar e cultivar os isolados fúngicos do complexo *Colletotrichum* spp., e os fungos do consórcio bioinoculante, preservados na Coleção de Cultura de microrganismos de Importância Biotecnológica e Ambiental (CCMIBA);
- Testar *in vitro* o potencial antagonista dos fungos isolados e em consórcio, frente ao *Colletotrichum* spp., por meio de ensaios de cultivo pareado, e análise da taxa de inibição do crescimento micelial;
- Preparar o bioinoculante a partir da imobilização do consórcio fúngico em carvão ativado;
- Delinear e montar cultivos de soja em vasos para a execução dos ensaios de avaliação do potencial antagonista do consórcio fúngico frente a *Colletotrichum* sp., bem como seus efeitos sobre o desenvolvimento vegetal;
- Infectar plantas de soja com *Colletotrichum* sp.;
- Avaliar o potencial de antagonismo do consórcio fúngico imobilizado no carvão ativado, contra o *Colletotrichum* sp. em plantas infectadas, por meio de um ensaio temporal em vasos.

4 METODOLOGIA

4.1. LOCAL DA PESQUISA

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Bioquímica e Microbiologia da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), localizado em Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil (altitude média de 192 m). O clima da região é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfa), segundo Köppen-Geiger (ALVARES *et al.*, 2013), caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos amenos. Parte dos experimentos foi conduzida em área externa, no campus da universidade.

4.2 MICRORGANISMOS

Para o desenvolvimento do experimento foram avaliados os fungos *Bjerkandera* sp._CCMIBA38, *Clonostachys rosea*_CCMIBA37 e *Purpureocillium lilacinum*_CCMIBA36, todos isolados de serrapilheira de solo agrícola e depositados na Coleção de Cultura de microrganismos de Importância Biotecnológica e Ambiental (CCMIBA), da UNILA. Esses isolados foram selecionados a partir do projeto intitulado “Desenvolvimento de Inoculante para Biorremediação de Solos Agrícolas baseado na Associação de Fungos e Carvão Ativado”, coordenado pela Profa. Rafaella Costa Bonugli Santos e também no trabalho de Siqueira (2024) intitulado “Tratamento de Solo Agrícola Contaminado com Atrazina por Fungos Filamentosos Imobilizados em Carvão Ativado”, Nesses estudos, os fungos foram avaliados em consórcio e submetidos a testes prévios que confirmaram sua viabilidade de imobilização em carvão ativado.

Adicionalmente, os fungos foram previamente avaliados quanto à produção de enzimas ligninolíticas e à capacidade de degradação do pesticida atrazina, apresentando desempenho positivo em ambos os testes. A seleção dos isolados para a composição do bioinoculante também levou em consideração o potencial bibliográfico de controle biológico de fitopatógenos, foco principal de avaliação no presente estudo.

Para a reativação e cultivo das linhagens fúngicas do bioinoculante, foi utilizado o meio de cultura Extrato de Malte Enriquecido (MA2E: 20 g/L de extrato de malte, 10 g/L de peptona, 5 g/L de extrato de levedura, e 16 g/L de ágar, em água deionizada), conforme Siqueira (2024).

4.2.1 Fitopatógenos

Os isolados de *Colletotrichum* spp. também encontram-se depositados na

CCMIBA e foram reativados e cultivados em placas de Petri contendo meio MA2E como forma de padronizar os experimentos.

O isolado CCMIBA24 foi coletado em serrapilheira do Parque Nacional do Iguaçu (PNI) e as identificações moleculares revelam ser *Colletotrichum gloeosporioides*. O isolado CCMIBA86 também é de serrapilheira do PNI identificado como *Colletotrichum truncatum species complex*. Já o isolado CCMIBA188 ou R125, é de solo agrícola, identificado como *Colletotrichum truncatum*.

Escolheu-se *C. gloeosporioides*_CCMIBA24 para infectar as plantas e realizar os ensaios *in vivo* pois foi o único fungo que demonstrou maior potencial de esporulação, o que era pré-requisito do experimento, uma vez que a infecção seria causada por suspensão de esporos. Então, para esse isolado, após o cultivo por 10 dias em estufa tipo B.O.D. (incubadora de temperatura controlada), foi preparado uma suspensão de esporos em água destilada estéril, por meio da raspagem superficial do micélio com auxílio de alça de Drigalski. A suspensão dos esporos foi calibrada em Câmara de Neubauer e ajustada a $1,5 \times 10^5$ conídios/mL para infecção nas plantas.

Também foram preparados repiques de todos os fungos *Colletotrichum* spp. para a realização dos ensaios *in vitro* de antagonismo, conduzidos em placas de Petri contendo MA2E. As incubações foram realizadas a 28 °C, com fotoperíodo de 12 horas.

4.3 MÉTODO DE CULTIVO PAREADO

Para avaliar o antagonismo *in vitro* dos fungos do consórcio contra *Colletotrichum* spp. foram empregados dois métodos de confronto, ambos baseados na técnica de cultivo pareado, também conhecida como cultura dupla conforme descrito por Bell *et al.* (1982). Essa metodologia permite a observação direta da interação entre os microrganismos em meio de cultura, possibilitando comparar o efeito de cada fungo sobre um patógeno.

Inicialmente, os isolados fúngicos foram reativados em meio sólido MA2E e incubados a 28 °C por 7 dias. Após esse período, discos de micélio com 5 mm de diâmetro foram retirados das colônias dos fungos do consórcio e depositados a 1 cm da borda interna de novas placas de Petri contendo o mesmo meio de cultivo. No lado oposto da placa, foi inoculado um disco de micélio do isolado de *Colletotrichum* spp. pertencentes a coleção CCMIBA. Os tratamentos foram realizados em triplicata, e as placas foram incubadas a 28 °C por 10 dias, sob fotoperíodo de 12 horas (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição dos tratamentos de cultivo pareado

Tratamento	Inoculação
Controle 1	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> _CCMIBA24
Controle 2	<i>Colletotrichum truncatum species complex</i> _CCMIBA86
Controle 3	<i>Colletotrichum truncatum</i> _CCMIBA188
Controle 4	<i>Purpureocillium lilacinum</i> _CCMIBA36
Controle 5	<i>Clonostachys rosea</i> _CCMIBA37
Controle 6	<i>Bjerkandera</i> sp._CCMIBA38
T7	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> _CCMIBA24 + <i>P. lilacinum</i> _CCMIBA36
T8	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> _CCMIBA24 + <i>C. rosea</i> _CCMIBA37
T9	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> _CCMIBA24 + <i>Bjerkandera</i> sp._CCMIBA38
T10	<i>Colletotrichum truncatum species complex</i> _CCMIBA86 + <i>P. lilacinum</i> _CCMIBA36
T11	<i>Colletotrichum truncatum species complex</i> _CCMIBA86 + <i>C. rosea</i> _CCMIBA37
T12	<i>Colletotrichum truncatum species complex</i> _CCMIBA86 + <i>Bjerkandera</i> sp._CCMIBA38
T13	<i>Colletotrichum truncatum</i> _CCMIBA188 + <i>P. lilacinum</i> _CCMIBA36
T14	<i>Colletotrichum truncatum</i> _CCMIBA188 + <i>C. rosea</i> _CCMIBA37
T15	<i>Colletotrichum truncatum</i> _CCMIBA188 + <i>Bjerkandera</i> sp._CCMIBA38
T16	Consórcio em triângulo + <i>C. gloeosporioides</i> _CCMIBA24
T17	Consórcio em triângulo + <i>C. truncatum species complex</i> _CCMIBA86
T18	Consórcio em triângulo + <i>C. truncatum</i> _CCMIBA188
T19	Consórcio lado a lado + <i>C. gloeosporioides</i> _CCMIBA24
T20	Consórcio lado a lado + <i>C. truncatum species complex</i> _CCMIBA86
T21	Consórcio lado a lado + <i>C. truncatum</i> _CCMIBA_188

Fonte: Autoria própria.

Como descrito anteriormente, foram avaliados dois métodos de confronto para o consórcio fúngico frente aos fungos do complexo *Colletotrichum* spp. No primeiro método, os isolados *P. lilacinum*_CCMIBA36, *C. rosea*_CCMIBA37 e *Bjerkandera* sp._CCMIBA38, foram distribuídos em formato triangular, posicionados de forma equidistante nas bordas da placa de Petri contendo meio de cultura MA2E. Os isolados de *Colletotrichum* spp. foram inoculados no centro da placa, possibilitando a interação simultânea com os três fungos do consórcio.

No segundo método, os mesmos três isolados fúngicos do consórcio foram distribuídos lado a lado, alinhados em uma extremidade da placa, enquanto o disco micelial de *Colletotrichum* spp. foi colocado na extremidade oposta, promovendo um confronto direto e linear entre o patógeno e o consórcio.

Para a avaliação do crescimento fúngico nas placas de Petri, considerou-se a morfologia circular das colônias. Assim, a área ocupada por cada micélio foi estimada com base na fórmula da área do círculo, $A = \pi \times r^2$, onde r representa o raio da colônia medido em centímetros e a constante π foi considerada como 3,1416.

A área total de uma placa de Petri padrão (90 mm de diâmetro ou 9 cm) foi calculada pela mesma fórmula, resultando em aproximadamente 63,62 cm². A porcentagem de área ocupada por cada colônia foi então determinada pela relação entre a área da colônia e a área total da placa, multiplicada por 100, conforme a seguinte expressão: % da área ocupada = $(\pi \times r^2) / 63,62 \times 100$. Considerando que o crescimento micelial pode ocorrer de forma assimétrica, o raio de cada colônia foi medido em quatro direções (superior, inferior, esquerda e direita), sempre a partir do centro da colônia. A média aritmética desses valores foi utilizada como raio representativo, garantindo maior precisão na estimativa da área ocupada.

Para quantificar o potencial antagonista dos fungos frente ao patógeno, utilizou-se inicialmente a fórmula clássica proposta por Royse e Ries (1978): Inibição do Crescimento Radial (ICR) (%) = $[(r_1 - r_2) / r_1] \times 100$, onde r_1 representa o crescimento radial do patógeno em condição controle (sem antagonista), e r_2 o crescimento do patógeno em direção ao fungo antagonista. No entanto, visando uma estimativa mais realista do efeito inibitório, foi aplicada uma fórmula modificada que incorpora a zona de inibição (ZI) observada entre os dois micélios. A fórmula utilizada neste estudo foi: ICR (%) = $[(r_1 - r_2) + ZI] / r_1 \times 100$. Nesta equação, r_1 representa o crescimento máximo do patógeno em condição livre, r_2 o crescimento do patógeno em direção ao antagonista, e ZI a distância entre os micélios sem crescimento visível. Essa abordagem permite que a inibição total seja

expressa como a soma da redução direta no crescimento do patógeno com a zona de inibição, em relação ao seu crescimento pleno. E nos casos em que não houve formação de ZI (i.e., contato direto entre os micélios), foi utilizada apenas a fórmula tradicional baseada na diferença entre os raios.

Para complementar a avaliação quantitativa, foi aplicado o critério de Bell *et al.* (1982), que classifica o antagonismo em uma escala de 1 a 5, com base na interação visual entre os micélios, onde 1: antagonista invadiu completamente a colônia do patógeno e cobriu toda a superfície do meio, 2: antagonista cresceu pelo menos dois terços da superfície do meio, 3: antagonista e patógeno colonizaram aproximadamente a metade da superfície do meio, 4: patógeno colonizou pelo menos dois terços da superfície do meio, resistindo à invasão do antagonista e, 5: patógeno invade completamente a colônia do antagonista, ocupando toda a superfície do meio. Essa escala qualitativa foi utilizada em conjunto com os cálculos de ICR para uma interpretação mais robusta do potencial de biocontrole dos isolados testados. Para facilitar essa categorização com base nos valores numéricos de inibição obtidos, utilizou-se uma fórmula condicional no Excel que associa automaticamente as porcentagens às respectivas notas da escala. Esse procedimento padronizado permitiu agregar uma dimensão qualitativa à análise, fortalecendo a robustez da seleção dos isolados.

Para a análise do crescimento micelial em placas de Petri, os valores obtidos de inibição do crescimento radial foram submetidos à análise estatística. Inicialmente, os dados foram avaliados por análise de variância (ANOVA), considerando-se o nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Quando detectadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Os resultados foram expressos como média \pm desvio padrão e representados graficamente por meio de gráficos de barras, nos quais as letras indicam diferenças estatísticas entre os tratamentos.

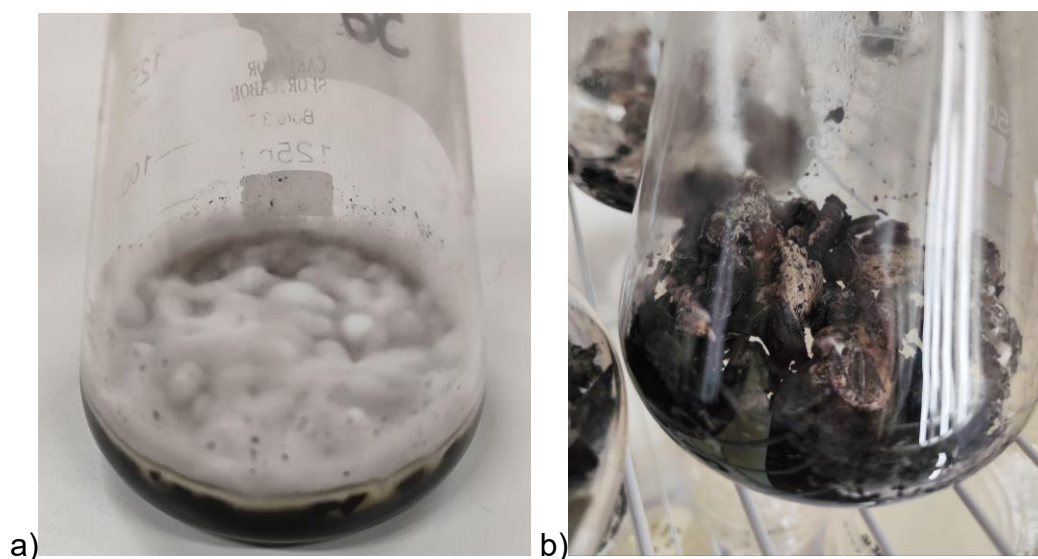
4.4 IMOBILIZAÇÃO NO CARVÃO ATIVADO E MONTAGEM DO BIOINOCULANTE

Os fungos do consórcio foram reativados em MA2E sólido, durante 10 dias em estufa tipo B.O.D. a 28 °C. Após os 10 dias de crescimento, a imobilização do consórcio foi realizada conforme Siqueira (2024).

Inicialmente foi preparado um pré-inóculo de cada fungo individualmente a partir da adição de três discos de micélio em Erlenmeyers com 25 mL de MA2E líquido adicionados previamente com 5 g de carvão ativado autoclavado e incubados durante 10

dias a 28°C (Figura 7a). Após esse período, a biomassa de cada fungo foi filtrada com papel filtro, em ambiente estéril, e transferida para um único Erlenmeyer contendo 15 g de carvão ativado autoclavado e 3 mL de água peptonada 1% tamponada (pH 7,0), para que os fungos se desenvolvessem de maneira conjunta, formando assim o consórcio do bioinoculante (Figura 7b). O consórcio foi incubado por 21 dias a 28°C. Após o período de incubação, o consórcio foi imediatamente aplicado no solo, sendo utilizados 25 g de bioinoculante por réplica (vaso) em seus respectivos tratamentos. Alguns tratamentos envolveram apenas o biochar, onde também foram utilizados 25 g, como forma de padronizar os experimentos.

Figura 7 - Cultivos para a obtenção do bioinóculo, sendo o pré-inóculo do fungo *Purpureocillium lilacinum*_CCMIBA36 (a) e o inóculo contendo o consórcio fúngico (b)



Fonte: Autoria própria.

Para realizar a imobilização fúngica no carvão ativado, foi utilizado o carvão ativado comercial Biochar Brasil (adubo orgânico em pó, componentes: Nitrogênio, Fósforo, Ferro, Cobre, Potássio, Cálcio, Zinco, Manganês, Magnésio, Enxofre, Boro e Sódio, não inflamável e sem nitrato de amônia).

4.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DO POTENCIAL BIOINOCULANTE DO CONSÓRCIO FÚNGICO AO *COLLETOTRICHUM* SPP.

Para o ensaio *in vivo*, foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado, contendo cinco tratamentos e um controle, com três repetições cada um, totalizando 18 amostras (Tabela 2).

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos nos vasos

Tratamento	Inoculação
E1	Bioinoculante
E2	Biochar
E3	Patógeno + Bioinoculante
E4	Patógeno + Biochar
E5	Patógeno
E6	Controle positivo: Apenas solo

Fonte: Autoria própria.

Cada repetição consistiu em um vaso contendo a soja, da cultivar IPR Pé-Vermelho. A cultivar foi semeada em vasos de polipropileno, cilíndricos, com capacidade para 11 L, contendo 5,5 kg do substrato comercial. Inicialmente, foram colocadas 5 sementes por vaso, realizando desbaste após a germinação e deixando uma planta por vaso. No mesmo dia da semeadura nos vasos foi adicionado o bioinoculante (T1) nos devidos tratamentos, homogeneizando com o substrato. Nos ensaios que envolveram apenas o biochar, foi realizado o mesmo procedimento, homogeneizando-o com o substrato. Após 30 dias do cultivo, foi adicionado mais uma biomassa do bioinoculante (T2), para aumentar o vigor, especialmente após infecção das plantas com o patógeno.

As plantas receberam a inoculação do patógeno quando chegaram ao estágio fenológico V3 (segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida), em torno de 15-20 dias após a semeadura. A suspensão de esporos, ajustada em $1,5 \times 10^5$ conídios/mL, foi aplicada usando um pulverizador manual nos dois primeiros trifólios das plantas de soja, sendo aproximadamente 2 mL por repetição (vaso). Os vasos com o patógeno foram colocados em câmara úmida por 72 horas, utilizando sacos plásticos transparentes estéreis, umedecidos internamente, para favorecer a infecção (Figura 8).

Figura 8 - Vasos após a infecção do patógeno, envolvidos em sacos estéreis, nos respectivos tratamentos



Fonte: Autoria própria.

O ensaio foi realizado por 102 dias, até o estágio fenológico R5 aproximadamente. Durante todo o experimento, as plantas foram irrigadas diariamente, especialmente devido às altas temperaturas registradas durante o verão em Foz do Iguaçu, que exigiram atenção constante à manutenção da umidade do substrato. Ainda assim, no estágio vegetativo, observou-se um amarelecimento generalizado das folhas e um crescimento reduzido em todas as plantas, independentemente do tratamento. Esses sintomas podem estar relacionados a uma combinação de fatores abióticos, como estresse térmico e deficiência nutricional, além de possíveis influências bióticas, como formigas.

Diante deste cenário, optou-se por realizar adubações com fertilizante comercial NPK 10-10-10 (10% N, 10% P_2O_5 e 10% K_2O), em duas etapas. No plantio, procedeu-se à adubação de base, aplicando-se 10 g de NPK por vaso, incorporados de forma uniforme ao substrato. A adubação de cobertura foi realizada 30 dias após o plantio, com a aplicação de 5 g de NPK por vaso, incorporados cuidadosamente ao solo. Considerando a área estimada dos vasos (28 cm de diâmetro; 615 cm²), as doses aplicadas correspondem a aproximadamente 1626 kg ha⁻¹ na adubação de base e 813 kg ha⁻¹ na adubação de cobertura. Após essa intervenção, foi possível observar uma melhora geral no desenvolvimento das plantas, indicando que a suplementação nutricional foi eficaz em corrigir deficiências e restabelecer o vigor vegetal.

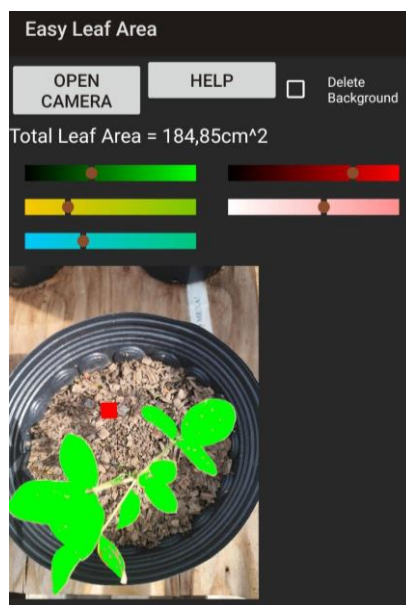
4.5.1 Variáveis Mensuradas

Para a avaliação dos testes *in vivo*, foram analisadas variáveis relacionadas ao desenvolvimento morfológico da soja, incluindo a altura total da planta (cm), área foliar total (cm²) e diâmetro do caule (mm). A altura da planta e o diâmetro do caule refletem o vigor do crescimento e a capacidade de sustentação da estrutura aérea, enquanto a área foliar é um indicativo da capacidade fotossintética e do potencial de produção de biomassa. Além disso, esses parâmetros permitem detectar precocemente os efeitos de diferentes tratamentos ou estresses (Klahold *et al.*, 2005; Di Napoli Nunes, 2025). As medições foram realizadas semanalmente, para avaliar a resposta das plantas ao longo do ciclo, especialmente nos tratamentos submetidos à infecção.

Ao término do cultivo, foram incorporadas à análise mais duas variáveis, o peso seco da parte aérea e o peso seco das raízes. O peso seco da parte aérea está intimamente relacionado ao potencial produtivo da planta, pois representa o investimento em estruturas responsáveis pela fotossíntese, transporte de nutrientes e, principalmente, pela formação de vagens e grãos. Já o peso seco das raízes fornece informações sobre o vigor do sistema radicular, essencial para a absorção de água e nutrientes, além de representar a interface principal de interação com microrganismos do solo, como agentes de biocontrole (Klahold *et al.*, 2005; Carvalho, 2023). Assim, a inclusão dessas variáveis finais complementa as análises, oferecendo uma visão integrada da resposta da planta às diferentes condições experimentais e do potencial produtivo alcançado.

A altura total da planta e o diâmetro do caule foram mensurados utilizando um paquímetro digital. Já a área foliar total foi estimada com o uso do aplicativo “Easy Leaf Area”, que permite calcular de forma não destrutiva a área das folhas a partir de imagens (Meira, 2020). Para sua utilização, posicionou-se um quadrado vermelho de tamanho padrão de 4 cm² ao lado da planta fotografada, permitindo a calibração automática da escala e a medição da área foliar (Figura 9) (Santana, 2025).

Figura 9 - Medição da área foliar total, estimada pelo aplicativo “Easy Leaf Area”



Fonte: Captura de tela, celular da própria autora.

Ao término do cultivo, em 05 de fevereiro de 2025, quando as plantas atingiram o estágio fenológico R5, foram determinadas as massas secas da parte aérea e do sistema radicular. A parte aérea foi considerada como o conjunto de folhas, caule e vagens com grãos em formação, enquanto as raízes foram separadas e avaliadas individualmente.

Durante a coleta, as plantas foram lavadas em água corrente abundante até que fosse possível removê-las integralmente dos vasos, sem comprometer a integridade de suas estruturas. Em seguida, o material vegetal foi separado em parte aérea e sistema radicular e disposto em peneiras de malha fina para a completa remoção do solo aderido às estruturas. Após essa etapa, as amostras foram deixadas em escorrimento sobre a bancada para a pré-secagem do excesso de umidade. Posteriormente, o material foi transferido para sacos de papel e colocado em estufa de circulação forçada de ar a 65 ± 2 °C até atingir massa constante, conforme metodologia recomendada pela AOAC (2000) e adaptada de Embrapa (1997). Após a secagem, as massas secas foram determinadas utilizando-se uma balança analítica de precisão.

4.5.2 Análises Estatísticas

Os dados obtidos para as variáveis altura de planta, diâmetro do caule e área foliar total foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando cada semana de avaliação de forma independente, utilizando o software Past versão 4.0. A

ANOVA pressupõe que as observações analisadas sejam independentes entre si, por esse motivo optou-se por tratar cada momento de avaliação separadamente, permitindo a comparação dos tratamentos dentro de cada período experimental, identificando diferenças entre tratamentos em cada período de desenvolvimento das plantas.

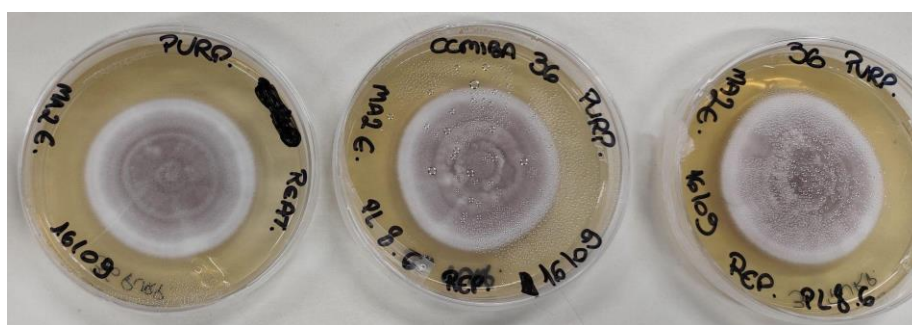
Os dados obtidos para as variáveis peso seco (ao final do experimento) também foram submetidos à ANOVA.

Quando observadas diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adicionalmente, foram elaborados gráficos contendo as médias acompanhadas de seus respectivos desvios padrão, com o objetivo de ilustrar o comportamento e a evolução do crescimento das plantas ao longo do tempo para cada tratamento avaliado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os fungos utilizados no estudo apresentaram bom crescimento em meio MA2E, com colônias visivelmente ativas e micélio vigoroso, conforme Figuras 10, 11 e 12. Tanto os isolados empregados nos testes de cultura dupla quanto aqueles utilizados para o preparo dos pré-inóculos demonstraram desenvolvimento adequado, sem contaminações visíveis, o que garantiu a viabilidade dos experimentos subsequentes.

Figura 10 - Crescimento do fungo do consórcio *Purpureocillium lilacinum*_CCMIBA36



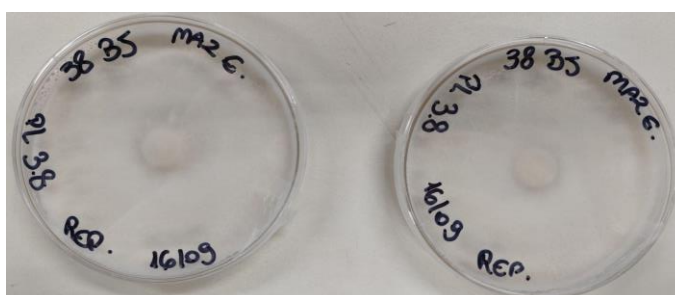
Fonte: Autoria própria.

Figura 11 - Crescimento do fungo do consórcio *Clonostachys rosea*_CCMIBA37



Fonte: Autoria própria.

Figura 12 - Crescimento do fungo do consórcio *Bjerkandera* sp _CCMIBA38



Fonte: Autoria própria.

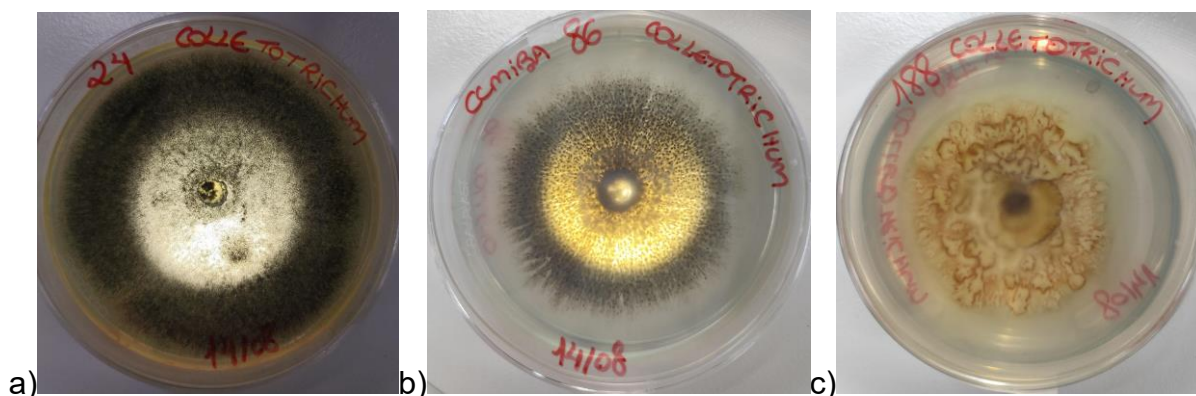
Diversos estudos têm sido realizados na triagem de meios de cultura adequados para fungos associados a plantas, sendo que os meios à base de extrato de malte são consistentemente considerados uma opção promissora frente a outras alternativas comuns, como o Ágar Batata Dextrose (BDA) (Gangopadhyay; Panja, 2025).

O meio descrito na seção de metodologia, composto por 20 g/L de extrato de malte, 10 g/L de peptona, 5 g/L de extrato de levedura e 16 g/L de ágar em água deionizada, é uma formulação com pH naturalmente baixo, devido principalmente ao extrato de malte. Essa acidez é essencial para promover seletivamente o crescimento de muitas espécies de fungos, ao mesmo tempo que inibe bactérias. Neste meio rico, a peptona e o extrato de levedura servem como fontes primárias de nitrogênio e vitaminas, enquanto o ágar atua como agente solidificante. Combinados, estes componentes sustentam um crescimento com morfologia e pigmentação típicas (SIGMA-ALDRICH, 2025).

O extrato de malte, por si só, é derivado da malteação de grãos de cevada. Este processo desenvolve as enzimas α -amilase e β -amilase, que convertem os amidos do grão em uma variedade de açúcares mais simples (incluindo glicose, maltose, maltotriose e maltodextrinas), culminando na disponibilização de nutrientes essenciais que asseguram o crescimento fúngico ideal (Rooney *et al*, 2023). Esse crescimento satisfatório foi essencial para a condução das análises de antagonismo e das aplicações em bioinoculação.

Todos os fungos do complexo *Colletotrichum* spp. (Figura 13), foram utilizados nos ensaios *in vitro*. Já o isolado *C. gloeosporioides*_CCMIBA24 também foi empregado nos testes em vasos.

Figura 13 - Fungos do complexo *Colletotrichum* spp., sendo: a) *C. gloeosporioides*_CCMIBA24; b) *C. truncatum* species complex_CCMIBA86; c) *C. truncatum*_CCMIBA188 ou R125

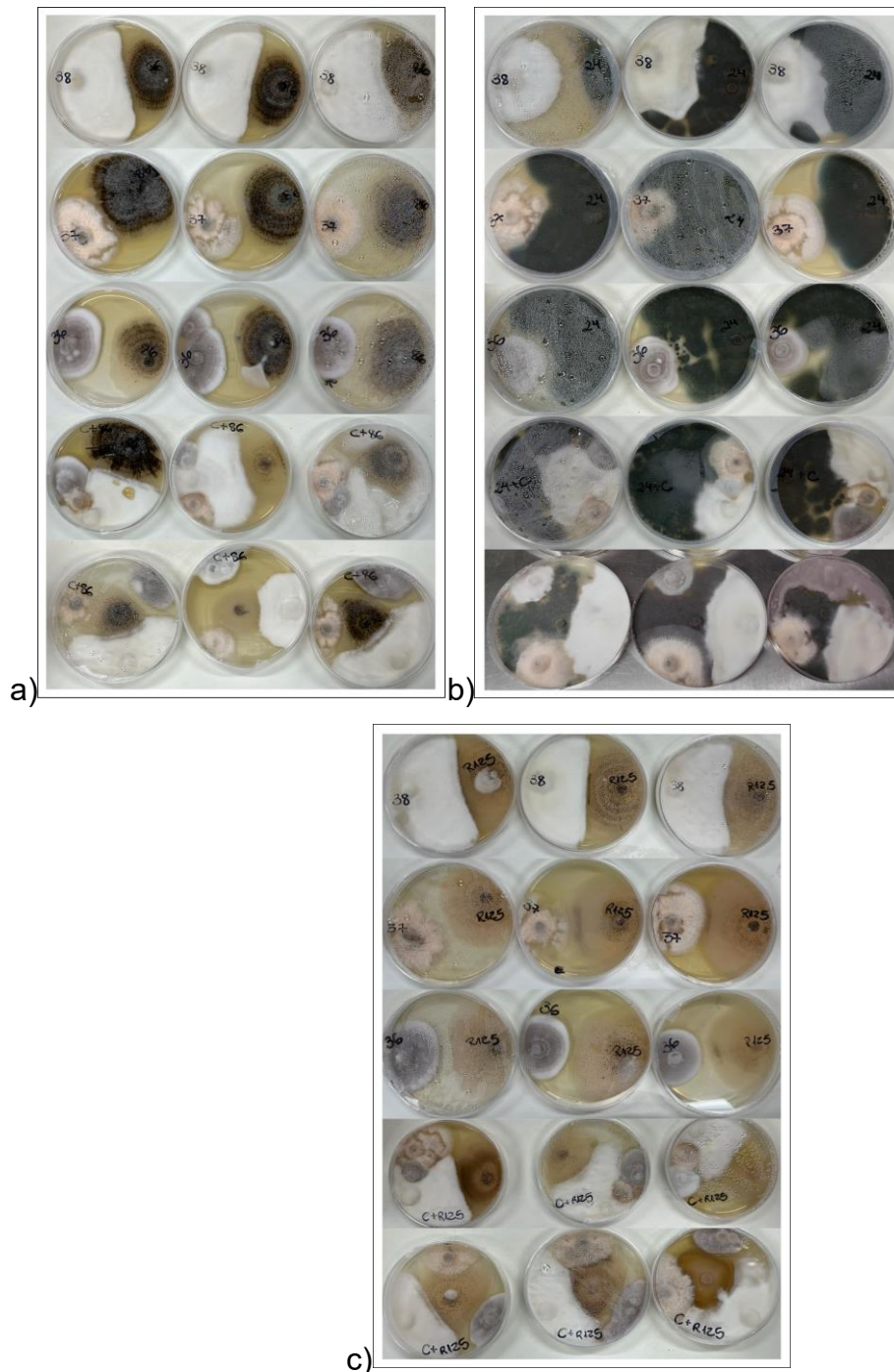


Fonte: Autoria própria.

5.1 CULTIVO PAREADO

O ensaio de cultivo parado (também chamado de cultivo estático) é uma abordagem simples utilizada com frequência em estudos de controle biológico. O objetivo desse tipo de ensaio pode variar conforme o foco da pesquisa. No presente estudo verificou-se a inibição do crescimento dos patógenos do complexo *Colletotrichum* spp. (CCMIBA24, CCMIBA86 e CCMIBA188) na presença dos fungos do consórcio fúngico (*Purpureocillium lilacinum*_CCMIBA36, *Clonostachys rosea*_CCMIBA37 e *Bjerkandera* sp._CCMIBA38), utilizando diferentes configurações de cultivo pareado. Os tratamentos foram realizados tanto com o patógeno e um fungo individual do consórcio lado a lado, como também, usou-se uma disposição triangular (C.T), com os fungos do consórcio, juntos, equidistantes ao patógeno, este ficando na posição central da placa; e uma disposição linear (C.L), com o patógeno em uma extremidade da placa e os fungos do consórcio, juntos, na outra (Figura 14).

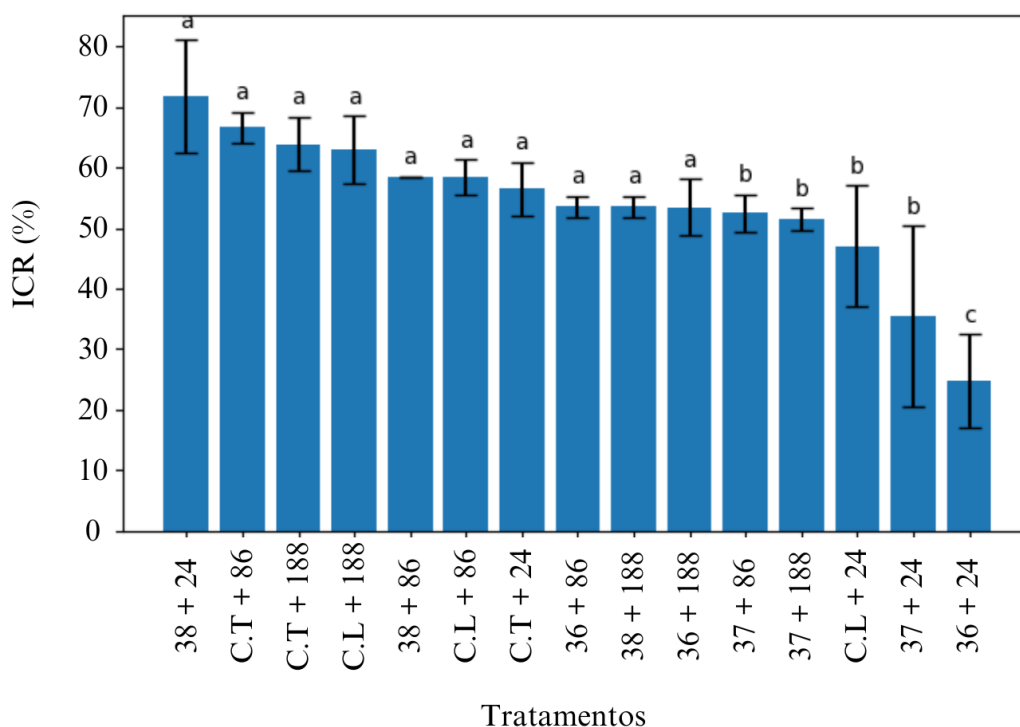
Figura 14 - Testes de cultivo pareado, com avaliações em triplicata, sendo: a) Cultivos envolvendo o isolado patogênico *C. truncatum species complex_CCMIBA86*; b) Cultivos com o patógeno *C. gloeosporioides_CCMIBA24*; c) Cultivos com o patógeno *C. truncatum_CCMIBA188* ou R125. As linhas apresentam, respectivamente: *Bjerkandera* sp._CCMIBA38 + patógeno; *C. rosea_CCMIBA37* + patógeno; *P. lilacinum_CCMIBA36* + patógeno; consórcio fúngico lado a lado + patógeno; consórcio fúngico em disposição triangular + patógeno



Fonte: Autoria própria.

No ensaio de cultivo pareado em placas de Petri, foram utilizadas duas abordagens para quantificar a inibição do crescimento do patógeno na presença dos fungos antagonistas do consórcio. A primeira abordagem baseou-se na estimativa da porcentagem de inibição com base na área total da placa, esta métrica fornece uma estimativa proporcional da área que o patógeno não conseguiu ocupar em razão da interação com o antagonista, sendo particularmente útil para avaliar o impacto do antagonismo sobre o avanço do micélio. Essa abordagem é vantajosa por considerar o espaço total disponível para crescimento e traduzir o resultado em termos da eficiência espacial do biocontrole. A Figura 15 apresenta as médias da porcentagem de inibição do crescimento do patógeno, dessa fórmula, em diferentes combinações dos isolados fúngicos do consórcio.

Figura 15 – Porcentagem média de inibição do crescimento radial (ICR) dos patógenos nos ensaios. Barras representam a média \pm desvio padrão. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)



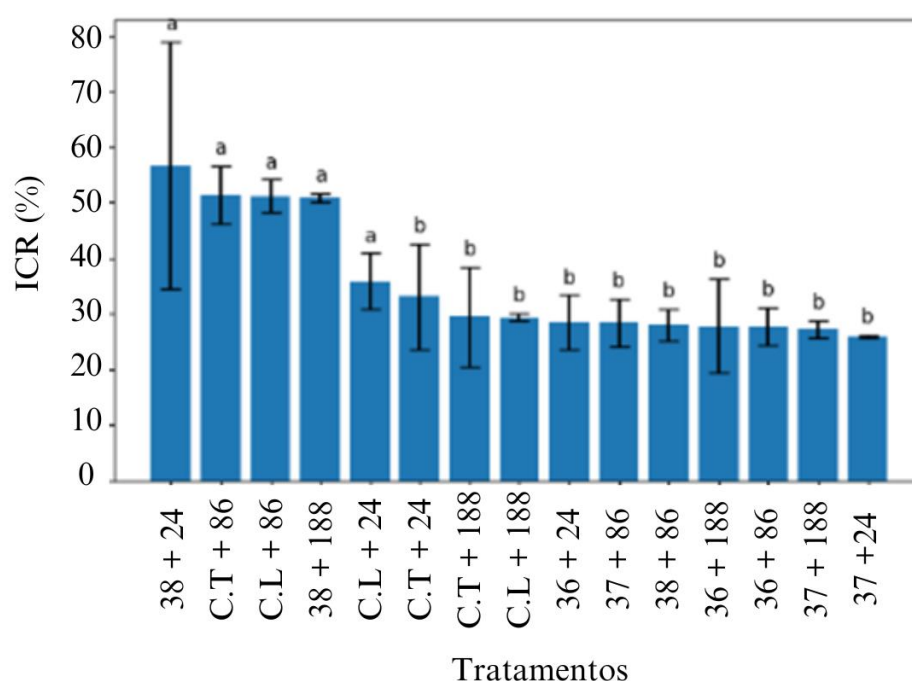
Fonte: Autoria própria.

Os resultados evidenciaram diferença significativa entre os tratamentos quanto à porcentagem de inibição do crescimento do patógeno (ANOVA, $p < 0,05$). Observou-se maior eficiência antagonista no tratamento envolvendo o isolado *Bjerkandera*

sp._CCMIBA38 frente ao patógeno *C. gloeosporioides*_CCMIBA24, e nos tratamentos envolvendo os fungos antagonísticos em consórcio, frente a *C. truncatum species complex*_CCMIBA86 e *C. truncatum*_CCMIBA188, que também demonstraram elevada capacidade de inibição. O ensaio envolvendo *Purpureocillium lilacinum*_CCMIBA_36 frente a *C. gloeosporioides*_CCMIBA24 apresentou o menor valor de inibição, diferindo significativamente dos tratamentos mais eficientes.

Para a segunda abordagem, empregou-se a fórmula de Inibição do Crescimento Radial (ICR) ajustada, para incorporar a zona de inibição (ZI), esta fórmula é mais sensível a assimetrias no crescimento micelial causadas pelo antagonismo direto e o resultado está na Figura 16.

Figura 16 - Porcentagem média de inibição do crescimento radial (ICR) dos patógenos nos ensaios, com fórmula incorporando ZI. Barras representam a média \pm desvio padrão. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Autoria própria.

Observou-se maior eficiência antagonista nos tratamentos envolvendo o isolado *Bjerkandera* sp._CCMIBA38 frente aos patógenos *C. gloeosporioides*_CCMIBA24 e *C. truncatum*_CCMIBA188, bem como nos fungos em consórcio testados contra o patógeno *C. truncatum species complex*_CCMIBA86, os quais apresentaram as maiores médias de ICR. Os demais tratamentos apresentaram níveis intermediários de inibição, sem

diferenças estatísticas entre si.

As análises realizadas com as diferentes fórmulas apresentaram perfis similares de inibição do crescimento dos patógenos, mesmo que os valores individuais tenham sido diferentes, mas é importante analisar como a escolha do método de cálculo pode influenciar a forma de interpretação dos dados.

Ambas as abordagens reforçam a consistência do *Bjerkandera* sp. como potencial agente de biocontrole, principalmente contra o patógeno *C. gloeosporioides*_CCMIBA24. Resultados similares também foram obtidos com o fungo *Bjerkandera* sp._CCMIBA38 frente ao patógeno *C. truncatum* species complex_CCMIBA86, indicando a eficácia deste isolado, destacando-se como o antagonista mais promissor do consórcio. Já os fungos *P. lilacinum*_CCMIBA36 e *C. rosea*_CCMIBA37 apresentaram desempenho inferior, independentemente da disposição em placa ou do patógeno testado, sugerindo uma menor atividade antagonista.

É importante considerar que a eficácia no controle de fitopatógenos depende de uma série de fatores, e que um organismo antagonista nem sempre apresenta o mesmo desempenho frente a diferentes patógenos. Espécies do gênero *Bjerkandera*, especialmente *Bjerkandera adusta*, têm sido relatadas como agentes promissores de controle biológico contra diversos fungos fitopatogênicos. O estudo recente de Chen e colaboradores (2021) demonstra que *B. adusta* BK-1 apresentou forte inibição *in vitro* contra seis diferentes patógenos e reduziu significativamente os sintomas de doenças como mofo cinzento, mancha-parda e pinta-preta precoce em plantas tratadas. Além disso, o fungo mostrou capacidade de colonização estável tanto no solo quanto nas folhas, reforçando seu potencial para uso prático como agente de biocontrole. Os mecanismos de ação descritos incluem: micoparasitismo direto, com penetração e dano físico às hifas dos patógenos; indução de defesas nas plantas, com aumento da atividade de enzimas relacionadas à defesa (como catalase e peroxidase) e redução de marcadores de dano celular; e colonização estável, com persistência no solo e nas superfícies vegetais (Feng *et al.*, 2021; Li, *et al.*, 2022).

5.1.1 Escala de Bell *et al.* (1982)

Dando continuidade à análise, a fim de complementar a avaliação quantitativa da inibição micelial, foi empregada a Escala de Bell *et al.* (1982), que permite classificar visualmente o grau de antagonismo entre os organismos em uma escala de 1 a 5. Essa abordagem considera o padrão de crescimento observado entre os fungos,

variando desde a completa supressão do patógeno (nota 1) até sua dominância total sobre o antagonista (nota 5). Para facilitar essa categorização com base nos valores numéricos de inibição obtidos, utilizou-se uma fórmula condicional que associa automaticamente as porcentagens às respectivas notas da escala. A aplicação dessa escala corrobora com os resultados anteriores, evidenciando novamente o fungo *Bjerkandera* sp. CCMIBA_38 como o mais eficiente no controle de *Colletotrichum* spp., com predomínio de notas entre 2 e 3, sugerindo forte ação antagônica mesmo em diferentes configurações de cultivo (Tabela 3).

Tabela 3 - Notas utilizando a escala de Bell *et al.* (1982), onde 1: antagonista invadiu completamente a colônia do patógeno; 2: antagonista cresceu dois terços da superfície; 3: antagonista e patógeno colonizaram a metade da superfície; 4: patógeno colonizou dois terços da superfície, e, 5: patógeno invade completamente a colônia do antagonista

Amostra	Repetições	Notas atribuídas
36 + 188	3	4, 4, 4
37 + 188	3	4, 4, 4
38 + 188	3	3, 3, 3
C.T + 188	3	4, 4, 4
C.L + 188	3	4, 4, 4
36 + 86	3	4, 4, 4
37 + 86	3	4, 4, 4
38 + 86	3	4, 4, 4
C.T + 86	3	3, 3, 3
C.L + 86	3	3, 3, 3
36 + 24	3	4, 4, 4
37 + 24	3	4, 4, 4
38 + 24	3	2, 3, 3
C.T + 24	3	4, 4, 3
C.L + 24	3	4, 4, 3

Fonte: Autoria própria.

Para a maioria dos tratamentos, a nota atribuída pela Escala de Bell *et al.*

(1982) foi 4, o que indica que, embora tenha havido alguma interação antagônica, o patógeno ainda conseguiu colonizar uma porção significativa da placa, resistindo parcialmente à ação dos fungos do consórcio.

Cabe destacar, porém, que o resultado *in vitro* isoladamente, por possuir severas limitações, se torna apenas extrapolação para a situação em campo (Fokkema, 1993), dentre elas: ausência da planta hospedeira, sendo o limite mais crítico que faz com que mecanismos fisiológicos mediados pela planta sejam ignorados; o foco exclusivo na competição espacial, já que as fórmulas utilizadas medem a inibição do crescimento micelial mas não conseguem diferenciar e quantificar outros mecanismos de antagonismo direto que são fundamentais, e, portanto, não distingue se o bloqueio entre os fungos ocorreu de forma física ou química (Harman, 2004); e simplificação do ambiente e da interação molecular, já que o ambiente de uma placa de Petri, estéril, com nutrientes abundantes e em uma superfície bidimensional, é drasticamente diferente da rizosfera ou do filoplano (superfície da folha) (Fokkema, 1993).

Além disso, a escolha e o manejo do meio de cultivo são variáveis fundamentais que podem influenciar significativamente os resultados de estudos de cultura pareada em controle biológico (Vis; Ito; Hofmann, 2020). No presente estudo, por exemplo, o meio MA2E foi selecionado com o objetivo de favorecer o crescimento dos fungos do consórcio. No entanto, não foi realizada uma avaliação específica do crescimento de *Colletotrichum* spp. testando variados meios, apenas constatou-se que ele obteve um crescimento considerável no MA2E. Batata dextrose ágar (PDA), no entanto, é o meio mais comumente utilizado e eficaz para ensaios de cultura pareada envolvendo *Colletotrichum* spp (Falke; Dhoke; Chandurkar, 2023).

A interação real envolve um complexo diálogo com efetores, toxinas e o reconhecimento de padrões moleculares (MAMPs, do inglês, *Microbe-Associated Molecular Patterns*) pela planta (Nagai, 2017). O teste em placa reduz a disputa progressiva e evolutiva molecular a uma simples disputa por território em um meio artificial. Devido a isso, o teste *in vitro* foi considerado uma ferramenta útil para análise do potencial antagônico, mas não pode ser analisado de forma independente dos resultados *in vivo*, onde a interação tripartida (antagonista-patógeno-planta) pôde ser melhor avaliada.

5.2 POTENCIAL DE ANTAGONISMO DO CONSÓRCIO FÚNGICO IMOBILIZADO NO CARVÃO ATIVADO, CONTRA O *COLLETOTRICHUM* SP. EM PLANTAS INFECTADAS

5.2.1 Infecção

A inoculação do patógeno foi realizada em 25 de novembro, aproximadamente um mês após a sementeira, no estágio fenológico V3. A partir desse momento, a manifestação dos sintomas da doença passou a ser monitorada diariamente. Os sintomas observados geralmente são manchas necróticas deprimidas e de coloração escura nos cotilédones, necrose nos pecíolos, manchas-marrons irregulares nas folhas, hastes e vagens e desfolha prematura, servindo como fonte de inóculo para o resto das plantas, visto que o fungo esporula nas partes da planta que caem no chão, podendo servir como fonte de dispersão por respingos de água (Brito, 2019).

Alguns sintomas relatados acima foram observados durante este experimento nos tratamentos contendo o patógeno, principalmente manchas-marrons nas folhas e desfolha prematura, o que indica a possível infecção (Figura 17).

Figura 17 - Sintomas observados nas plantas infectadas com *C. gloeosporioides*_CCMIBA24



Fonte: Autoria própria.

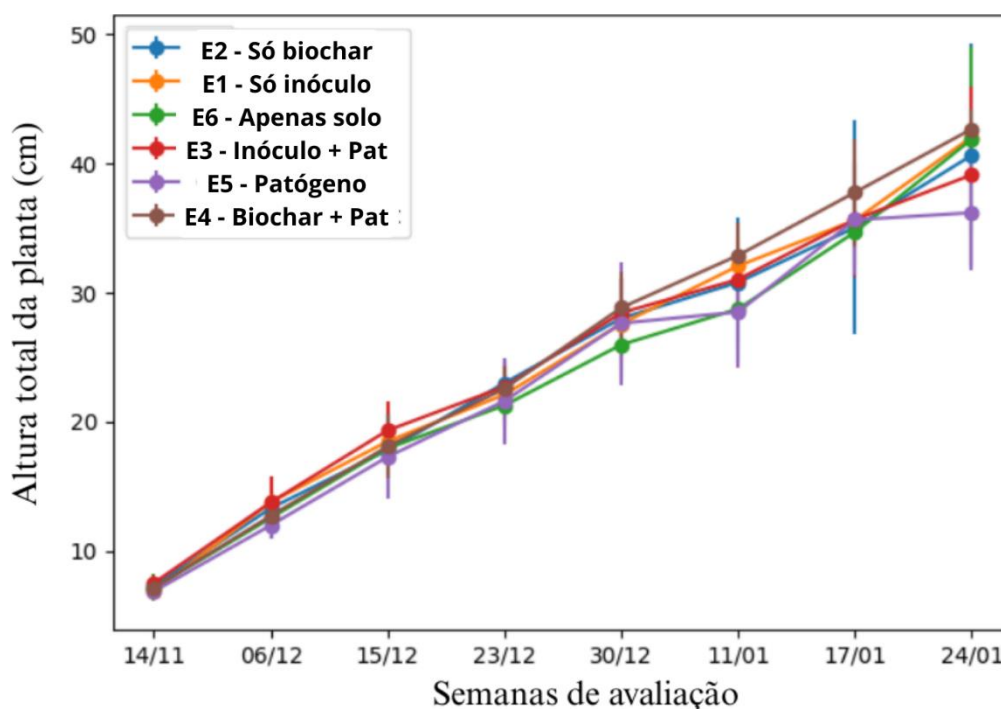
Durante todo o experimento, as variáveis referentes ao desenvolvimento das plantas e à manifestação dos sintomas da doença foram medidas semanalmente e registradas para composição das análises. Esses parâmetros permitiram observar não

apenas o efeito direto do patógeno sobre as plantas, mas também se o bioinoculante seria capaz em mitigar danos, através do desempenho geral das plantas sob estresse fitopatogênico. A seguir, apresentam-se os resultados obtidos para cada variável avaliada.

5.2.2 Altura das plantas

Para a variável altura total da planta, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando cada semana de avaliação de forma independente, com o objetivo de verificar possíveis diferenças entre os seis tratamentos. Os resultados indicaram que não houve diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos em nenhuma das semanas avaliadas, sugerindo que, nas condições do experimento, os tratamentos não influenciaram o crescimento em altura das plantas. Esse resultado pode indicar que os tratamentos não exerceram efeito direto sobre esse parâmetro ou que as respostas das plantas ocorreram de maneira semelhante entre os grupos avaliados. A evolução do crescimento em altura ao longo do tempo pode ser observada na Figura 18, no qual os dados são apresentados como média acompanhada do desvio padrão.

Figura 18 - Altura total das plantas (cm) ao longo das semanas de avaliação nos diferentes tratamentos. Os valores representam a média \pm desvio padrão



Fonte: Autoria própria.

A altura total das plantas aumentou progressivamente ao longo das oito semanas de avaliação em todos os tratamentos. Observa-se um padrão de crescimento semelhante entre os tratamentos nas fases iniciais, com diferenciação mais evidente a partir das semanas intermediárias. É possível verificar que o menor valor médio de altura foi registrado no tratamento com a inoculação exclusiva do patógeno (E5), sugerindo que a sua presença e a ausência de microrganismos benéficos ou condicionadores de solo afetaram negativamente o desenvolvimento das plantas. No entanto, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos.

A promoção do desenvolvimento vegetal do ponto de vista fúngico já foi previamente abordada na literatura por Chanclud e Morel (2016) e, apesar de ainda não compreendermos completamente o que ocorre neste caso, existem diversos mecanismos já cogitados e testados. A produção de auxinas, principalmente o ácido indol-3-acético (AIA), um hormônio fundamental que regula inúmeros processos na planta, incluindo a divisão e o alongamento celular, as respostas do crescimento em direção a um estímulo (tropísticas), a diferenciação do tecido vascular e, crucialmente, a iniciação e o desenvolvimento de raízes laterais e adventícias, é um dos mecanismos mais bem documentados dos fungos promotores de crescimento (Wang *et al.*, 2024).

A biossíntese fúngica de AIA utiliza frequentemente o L-triptofano, um aminoácido comumente encontrado nos exsudados radiculares, como precursor principal (Khalmuratova *et al.*, 2020). Ao produzirem AIA, os fungos endofíticos e micorrízicos estimulam a planta a desenvolver um sistema radicular mais extenso e ramificado. Este efeito, por sua vez, aumenta a capacidade da planta de explorar o solo e absorver água e nutrientes, criando um ciclo de retroalimentação positiva (Wang *et al.* 2024).

A “remodelação” hormonal causada pelo fungo cria uma maior área de superfície e estabelece um estado fisiológico mais receptivo para a subsequente transferência de nutrientes, que é então realizada de forma altamente eficiente pela rede de hifas. Outro mecanismo é a produção de giberelinas fúngicas, hormônios essenciais para a quebra da dormência e a germinação das sementes, o alongamento do caule, a floração, o desenvolvimento de frutos e a senescência (Alvarez-Diaz, 2022).

Ademais, seria possível o crescimento ser influenciado positivamente pelo próprio patógeno. As giberelinas citadas anteriormente, inclusive, foram inicialmente identificadas a partir do estudo de um fungo patogênico, *Gibberella fujikuroi*, que causava um crescimento excessivo em plantas de arroz (Khalmuratova *et al.*, 2020). Isso ocorre devido a uma certa “dualidade” no papel dos hormônios produzidos pelos fungos, já que as

mesmas moléculas que são utilizadas por simbioses mutualistas para promover o crescimento e facilitar a interação benéfica são também empregues por fungos patogênicos como fatores de virulência (Tabela 4). Porém, isso não se sustenta quando observa-se os ensaios contendo apenas o patógeno (E5), onde obteve-se o pior desempenho de crescimento.

Tabela 4 - Modulação de hormônios por Fungos Patogênicos vs. Simbióticos

Classe hormonal	Papel na patogênese	Papel na simbiose	Resultado para a planta
Auxinas	Indução de tumores e aumento da virulência.	Promoção do crescimento e ramificação radicular.	Patogênese: Crescimento anormal, desvio de nutrientes, doenças. Simbiose: Melhoria da arquitetura radicular, maior absorção de nutrientes.
Citoquininas	Envolvidas na formação de tumores e essenciais para a virulência total e supressão de defesas.	Promoção da divisão celular e do crescimento geral da planta e do simbionte. Modulação da adaptação ao estresse.	Patogênese: Manutenção de sumidouros de nutrientes, supressão de senescência, aumento da suscetibilidade. Simbiose: Crescimento vegetal saudável, modulação da relação mutualista.
Giberelinas	Participação indireta.	Estimulação da germinação de sementes e alongamento do caule.	Patogênese: Contribuição para os sintomas da doença. Simbiose: Aumento do vigor e do crescimento geral da planta.

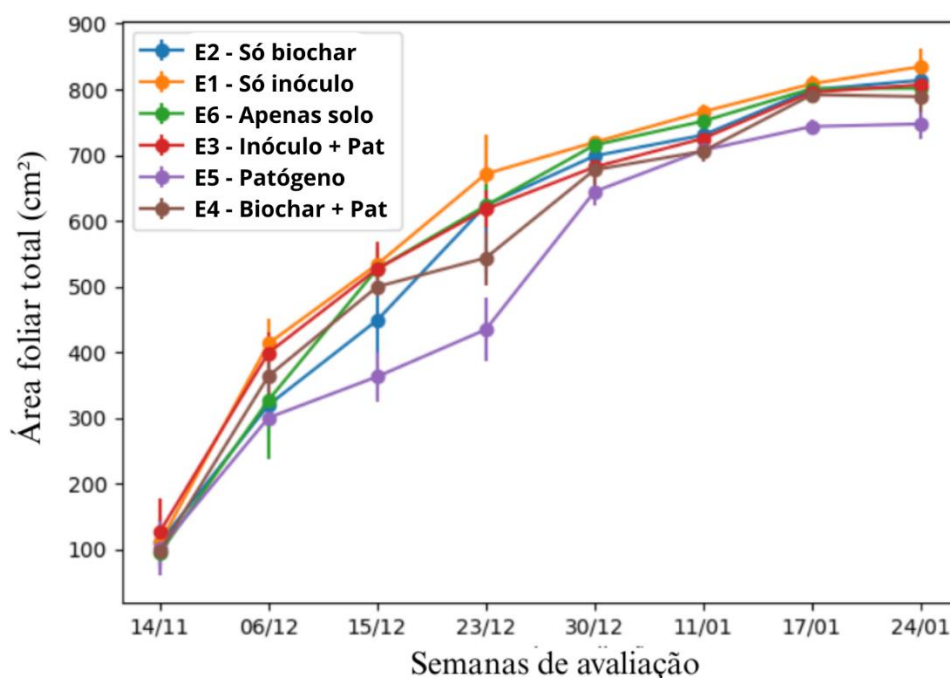
Fonte: Modificado de Khalmuratova *et al* (2020).

5.2.3 Área foliar total

Os dados de área foliar total foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando cada semana de avaliação de forma independente. Para as semanas 1 e 2, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. No entanto, a partir da semana 3 até a semana 8, foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$), indicando que, ao longo do desenvolvimento das plantas, os

tratamentos passaram a influenciar de maneira distinta, com alguns tratamentos promovendo maior desenvolvimento foliar, enquanto outros apresentaram desempenho inferior (Figura 19).

Figura 19 - Evolução da área foliar total (cm²) ao longo das semanas de avaliação nos diferentes tratamentos. Os valores representam a média ± desvio padrão



Fonte: Autoria própria.

Quando observadas diferenças significativas pela ANOVA ($p < 0,05$), foi aplicado o teste de comparação de médias de Tukey. Na semana 3, 4 e 5, o tratamento E5, correspondente à presença apenas do patógeno, apresentou médias de área foliar total significativamente menores em relação aos demais tratamentos, os quais não diferiram estatisticamente entre si. Na semana 6, os tratamentos E1 (só bioinóculo) e E6 (apenas solo) apresentaram as maiores médias de área foliar, não diferindo entre si e sendo superiores aos demais. Nessa mesma semana, E5 (patógeno) e E4 (biochar + patógeno) apresentaram as menores médias, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, enquanto E3 (bioinóculo + patógeno) e E2 (biochar) apresentaram valores intermediários. Na semana 7, a diferença significativa foi observada apenas para E5 (patógeno), que apresentou área foliar inferior em relação aos demais. Já na semana 8, o tratamento E5 diferiu estatisticamente apenas de E1 (só bioinóculo), mantendo médias inferiores de área

foliar total ao longo de praticamente todo o experimento.

De modo geral, observa-se aumento progressivo da área foliar ao longo do período experimental em todos os tratamentos. Entretanto, o tratamento contendo apenas o patógeno apresentou menor desenvolvimento foliar, principalmente nas avaliações intermediárias, indicando possível efeito negativo do patógeno sobre a expansão das folhas. Por outro lado, o tratamento contendo bioinóculo apresentou uma certa tendência de maior área foliar ao longo do tempo, sugerindo possível efeito benéfico dessa condição no desenvolvimento vegetativo das plantas, apesar de não ter se diferenciado estatisticamente dos demais.

O tratamento com apenas o patógeno (E5) apresentou a menor média entre todos os grupos, o que confirma sua ação deletéria sobre o crescimento da soja. Este desempenho inferior mostra que a cepa é fitopatogênica, com impacto significativo sobre a área foliar das plantas, prejudicando diretamente a fotossíntese e o acúmulo de biomassa.

Além das ações hormonais já discutidas, a interferência da fotossíntese e acúmulo de biomassa pela cepa possuem intensa ação de toxinas fúngicas. Apesar de não ser possível, no escopo do projeto, definir ou avaliar as toxinas exatas utilizadas pelo fungo, a literatura sobre o assunto já possui uma grande quantidade de informação. Essas toxinas costumam ser divididas entre toxinas seletivas ao hospedeiro (HSTs), que são tóxicas apenas para genótipos específicos do hospedeiro, ou não seletivas, com um espectro de ação mais amplo (Alvarez-Diaz, 2022). As HSTs são frequentemente fatores de patogenicidade essenciais, determinando a capacidade de um fungo causar doença em um hospedeiro particular.

O mecanismo de ação das toxinas é variado, mas frequentemente visa componentes celulares cruciais para a fotossíntese e o metabolismo energético. A toxina cercosporina, por exemplo, é uma molécula fotossensibilizadora que, na presença de luz, gera espécies reativas de oxigênio (EROs), como o oxigênio singleto. Essas EROs causam uma enorme peroxidação lipídica, destruindo a integridade das membranas celulares, incluindo as dos cloroplastos e mitocôndrias, o que leva a um colapso rápido da função fotossintética e à morte celular (Padder, 2016). Outras toxinas, como o ácido fusárico, afetam a permeabilidade da membrana plasmática e o balanço hídrico, resultando em murcha e, indiretamente, na interrupção da fotossíntese por estresse hídrico e fechamento estomático (Padder, 2016). A ação dessas toxinas resulta em necrose tecidual, que se traduz diretamente na perda de área foliar funcional.

Todos esses efeitos são essenciais para o sucesso do *Colletotrichum* na

infecção. Uma vez dentro da célula epidérmica, o fungo inicia uma estratégia de infecção bifásica, conhecida como hemibiotrofia (Belisário *et al.*, 2022). Inicialmente, o fungo se comporta-se como um biotrófico. Ele desenvolve hifas largas e primárias que crescem entre a parede celular e a membrana plasmática da célula hospedeira, sem penetrá-la. Durante esta fase, o patógeno estabelece uma relação íntima com a célula viva, secretando proteínas efetoras que suprimem as respostas de defesa da planta e influenciando a maquinaria celular para desviar nutrientes, como açúcares e aminoácidos, para seu próprio crescimento. Esta fase não causa sintomas visíveis, permitindo que o fungo se estabeleça sem ser detectado. Após um período que pode variar de 48 a 96 horas, dependendo do patossistema, o fungo realiza uma transição para um estilo de vida necrotrófico (Belisário *et al.*, 2022). Ele passa a produzir hifas secundárias, mais finas e agressivas, que matam ativamente os tecidos do hospedeiro, liberando enzimas degradativas. O fungo então se reproduz abundantemente nos tecidos mortos, liberando massas de novos conídios para reiniciar o ciclo (Meyer; Klepker, 2007).

As lesões necróticas que caracterizam a antracnose são, por definição, áreas de tecido morto. Conforme Farber *et al.* (2021) as manchas marrons ou negras, lesões necróticas características da antracnose, são desprovidas de clorofila e funcionalidade celular, tornando-se "buracos" na superfície fotossintética da folha. Isso não apenas reduz a área foliar, mas também encurta o período de vida útil da folha, diminuindo o tempo total que a planta tem para acumular os fotoassimilados necessários para sustentar o crescimento e, crucialmente, o enchimento de grãos ou frutos. A planta entra em um estado de estresse fisiológico e seu carbono acumulado é redirecionado da produção para a defesa (Farber *et al.*, 2021).

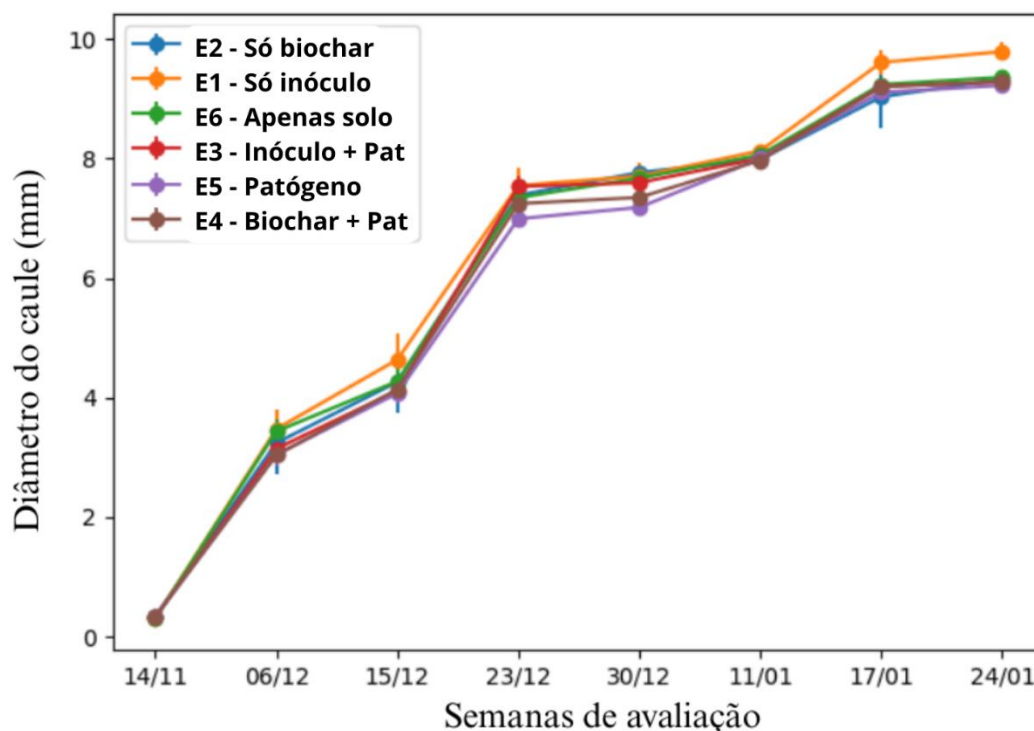
Na soja, a infecção direta das vagens transforma esses órgãos em drenos de energia para o patógeno. O fungo consome os nutrientes que seriam alocados para o desenvolvimento das sementes, resultando em abortamento de vagens, sementes malformadas, enrugadas e com baixo peso que culminam em perdas de produtividade que variam tipicamente entre 10% e 20%, mas podem ser muito maiores, chegando à perda total em anos excepcionalmente chuvosos e com o uso de cultivares altamente suscetíveis (Meyer; Klepker, 2007).

5.2.4 Diâmetro do caule

Os dados referentes ao diâmetro do caule foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando cada semana de avaliação de forma independente, sendo aplicado o teste de Tukey para comparação múltipla das médias quando observada significância estatística ($p < 0,05$). Diferenças entre os tratamentos foram observadas nas semana 5 ($p = 0,0009$) e na 8 de avaliação ($p = 0,0001$).

Na semana 5 de avaliação, o teste de Tukey indicou que os tratamentos E1 (só bioinóculo), E2 (só biochar) e E6 (apenas solo) apresentaram os maiores diâmetros de caule, enquanto o tratamento E5 (patógeno) apresentou os menores valores, diferindo significativamente dos demais. O tratamento E4 (biochar + patógeno) apresentou comportamento intermediário, não se destacando entre os maiores nem entre os menores valores. Já na semana 8, o tratamento E1 (só bioinóculo) apresentou a maior média de diâmetro do caule, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, os quais não apresentaram diferenças significativas entre si (Figura 20).

Figura 20 - Evolução do diâmetro do caule (mm) ao longo das semanas, nos diferentes tratamentos. Os valores representam a média \pm desvio padrão



Fonte: Autoria própria.

Diferenças significativas foram verificadas principalmente nas avaliações mais tardias, com destaque para o tratamento contendo apenas inóculo, que apresentou

maiores valores ao final do experimento, enquanto o tratamento contendo apenas o patógeno apresentou menores diâmetros. Os demais tratamentos apresentaram comportamento intermediário e crescimento semelhante ao longo do tempo.

Esses resultados sugerem que o consórcio fúngico aplicado de forma isolada pode ter promovido o crescimento vegetal. Por outro lado, os tratamentos envolvendo o patógeno refletem um impacto negativo sobre o desenvolvimento da planta. A aplicação do consórcio fúngico pode ser promissora para o fortalecimento vegetal, como também pode ser visualizado nas Figuras 21 e 22, que apresentam a comparação entre as plantas de cada tratamento.

Figura 21 - Plantas conforme os seguintes tratamentos: Apenas bioinóculo (E1), apenas biochar (E2) e apenas solo (E6), respectivamente, mostrando que E1 se sobressai



Fonte: Autoria própria.

Figura 22 - Plantas submetidas aos seguintes tratamentos: apenas patógeno (E5), biochar + patógeno (E4) e bioinoculante + patógeno (E3), respectivamente. Observa-se que o tratamento E3 apresentou melhor desempenho geral em comparação aos demais

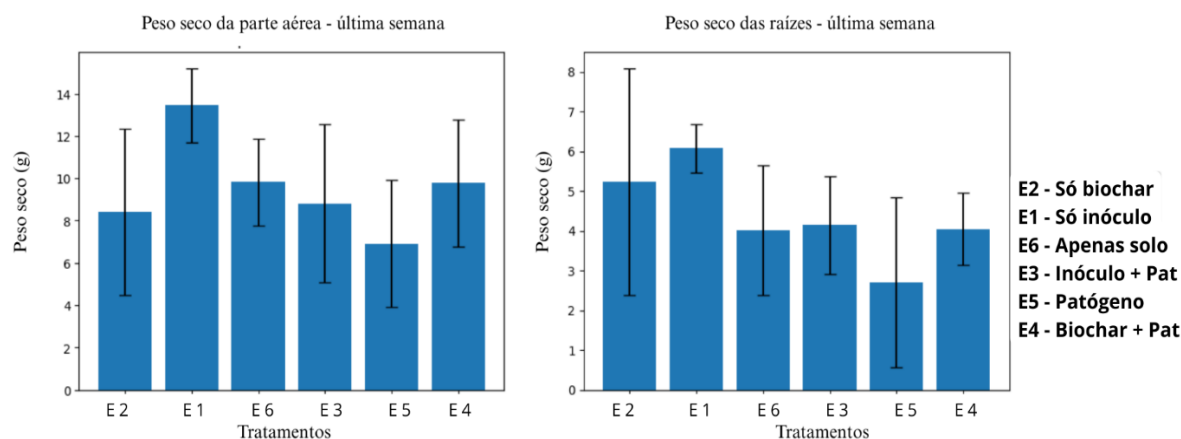


Fonte: Autoria própria.

5.2.5 Peso seco

A análise do peso seco da parte aérea e das raízes foi realizada apenas ao final do experimento, sendo os dados submetidos à ANOVA. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para nenhuma das variáveis ($p = 0,23$ para a parte aérea e $p = 0,31$ para as raízes). De modo geral, observa-se variação numérica entre os tratamentos, com tendência de maiores valores no tratamento contendo apenas inóculo, porém sem diferença estatística em relação aos demais. Esses resultados indicam que, nas condições avaliadas, os tratamentos não promoveram alterações significativas na biomassa final das plantas (Figura 23).

Figura 23 - Peso seco da parte aérea e das raízes (g) nos diferentes tratamentos. Os valores representam a média \pm desvio padrão



Fonte: Autoria própria.

Observa-se que o tratamento contendo apenas o inoculante (E1) apresentou a maior média. Por outro lado, o grupo contendo apenas patógeno (E5) apresentou a menor média, indicando que a presença do patógeno teve impacto negativo sobre o desenvolvimento da parte aérea da planta (Figuras 24 e 25). Contudo, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos.

Figura 24 - Sistema radicular das plantas, submetidas aos tratamentos: Patógeno + biochar (E4), patógeno + bioinóculo (E3), patógeno (E5) e apenas solo (E6), evidenciando diferenças no desenvolvimento das raízes



Fonte: Autoria própria.

Figura 25 - Vista comparativa do desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular das plantas sob diferentes tratamentos: E4 (patógeno + biochar), E3 (patógeno + bioinóculo), E5 (apenas patógeno) e E6 (solo controle)



Fonte: Autoria própria.

Cabe destacar que, apesar de grande parte das análises não terem apresentado significância estatística, acredita-se que isso pode ser atribuído, em grande medida, ao número reduzido de réplicas utilizadas no experimento (apenas três por tratamento). Trabalhar com plantas implica em lidar com uma elevada variabilidade biológica, influenciada por fatores fisiológicos, ambientais e até mesmo genéticos, o que exige um maior número de repetições para alcançar robustez estatística. No entanto, limitações de recursos e infraestrutura impossibilitaram a ampliação do delineamento experimental neste estudo. Ainda assim, os resultados obtidos revelam tendências consistentes em favor do consórcio fúngico, tanto na promoção do crescimento vegetal quanto na atenuação dos efeitos do patógeno, o que indica um potencial promissor para futuras aplicações e validações em escala ampliada.

Embora existam diversos estudos demonstrando o potencial de *Purpureocillium lilacinum*, *Clonostachys rosea* e *Bjerkandera* sp. como agentes de controle biológico, especialmente contra nematoides, insetos e outros fitopatógenos fúngicos, a literatura científica atual não apresenta relatos específicos sobre sua ação direta contra o gênero *Colletotrichum*, destacando a originalidade da proposta deste trabalho. Ao integrar um consórcio fúngico com potencial biocontrolador, imobilizado em carvão ativado, que por si só, já possui propriedades que impulsionam o crescimento vegetal, faz com que esse tipo de abordagem amplie o espectro de possibilidades para o manejo sustentável de doenças na cultura da soja.

Portanto, este trabalho contribui de forma inédita para o conhecimento científico ao avaliar o desempenho conjunto de *P. lilacinum*, *C. rosea* e *Bjerkandera* sp. frente ao patógeno *Colletotrichum* spp. A investigação dessa associação é promissora e os resultados obtidos, mesmo diante da ausência de estudos prévios específicos, fornecem uma base relevante para futuras pesquisas e validações em campo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O consórcio fúngico testado demonstrou capacidade de atuação multifatorial, indo além do antagonismo direto, ao contribuir para a saúde e vigor das plantas. No entanto, apesar das diferenças numéricas entre os tratamentos, nos variados testes, a maioria das análises estatísticas não resultou em diferenças significativas entre si. Isso se deve, em grande parte, ao número reduzido de réplicas utilizado nos experimentos, especialmente nos testes *in vivo* com plantas, que são sistemas altamente variáveis por natureza. Ainda assim, os dados apontam caminhos consistentes para investigações futuras, utilizando este mesmo consórcio fúngico, especialmente com a ampliação do número de repetições e controle de variáveis ambientais.

Dessa forma, este estudo reforça a importância do controle biológico como estratégia viável e sustentável para o manejo de doenças em culturas agrícolas. Os resultados obtidos oferecem uma base sólida para futuras pesquisas com consórcios fúngicos, incentivando o aprimoramento de bioinoculantes e a realização de novos ensaios em campo com maior número de réplicas. Mesmo diante das limitações enfrentadas, os achados aqui apresentados contribuem para o avanço do conhecimento sobre biocontrole e apontam soluções promissoras frente aos desafios da agricultura moderna.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J. A. S.; ROVIDA, A. F. S.; PAMPHILE, J. A. Fungos de Interesse: Aplicações Biotecnológicas. Universidade Estadual de Maringá – UEM. **Revista UNINGÁ Review** - Vol. 21, nº 1, pp.55-59. 2015. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1613>. Acesso em: 13 de mar de 2025.
- AJAYI-OYETUNDE, O. O.; BRADLEY, C. A. Rhizoctonia solani: taxonomy, population biology and management of rhizoctonia seedling disease of soybean. **Plant pathology**, v. 67, n. 1, p. 3-17, 2018. Disponível em: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ppa.12733>. Acesso em: 24 de jun. de 2025.
- ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. F. V.; HENNING, A. A.; GODOY, C. V.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C. Doenças da soja (Glycine max). In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. F. A. **Manual de Fitopatologia**. Volume 2: Doenças das plantas cultivadas. 5. ed. São Paulo: Ceres, 2005, p. 569-588. Disponível em: <https://ppgfito.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Livro-Manual-de-Fitopatologia-vol.2.pdf>. Acesso em: 24 de jun. de 2025.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 23 de ago. de 2025.
- ALVAREZ-DIAZ, J. C. *et al.* Genome-wide transcriptomic analysis of the effects of infection with the hemibiotrophic fungus Colletotrichum lindemuthianum on common bean. **Plants**, v. 11, n. 15, p. 1995, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/15/1995>. Acesso em: 20 de jul. de 2025.
- ANGELOTTI, F.; HAMADA, E. Efeito do déficit hídrico sobre a ocorrência de doenças de plantas. In: BETTIOL, W.; HAMADA, E.; ANGELOTTI, F.; AUAD, A. M.; GHINI, R. (Ed.). **Aquecimento global e problemas fitossanitários**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2017. p. 144-158. Disponível em: https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/EMBR_6b6df4adedc62d3e524a1e3efdbfaffd. Acesso em: 24 de jun. de 2025.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. The Association, 2000.
- BARBIERI, M, C, G.; CIAMPI-GUILLARDI, M,; MORAES, S, R, G.; BONALDO, S, M,; ROGÉRIO, F,; LINHARES, R, R,; MASSOLA JÚNIOR, N, S, First report of Colletotrichum cliviae causing anthracnose on soybean in Brazil, **Plant Disease**, v, 101, p, 1677, 2017. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-07-16-0963-PDN>. Acesso em: 13 de maio. de 2025.
- BARON, N. C.; RIGOBELLO, E. C. Endophytic fungi: a tool for plant growth promotion and sustainable agriculture. **Mycology**, v. 13, n. 1, p. 39-55, 2022. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21501203.2021.1945699>. Acesso em: 01 de jul. de 2025.

BAYER. Antracnose. **Bayer Crop Science**. 2024. Agro Bayer Brasil. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/doencas/antracnose>. Acesso em: 31 fev. de 2025.

BELL, D. K.; WELLS, H. D.; MARKHAM, C. R. In vitro antagonism of Trichoderma species against six fungal plant pathogens. **Phytopathology**, St. Paul, v. 72, n. 4, p. 379-382, 1982. Disponível em:

https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1982Abstracts/Phyto72_379.htm. Acesso em: 24 de maio de 2025.

BELISÁRIO, Renata; ROBERTSON, Alison E.; VAILLANCOURT, Lisa J. Maize anthracnose stalk rot in the genomic era. **Plant Disease**, v. 106, n. 9, p. 2281-2298, 2022. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-10-21-2147-FE>. Acesso em: 23 de jul. de 2025.

BETTIOL, W.; MEDEIROS, F. H. V. **Como o Brasil se tornou o maior produtor e consumidor de produtos de biocontrole**. Embrapa Notícias, Brasília, 17 mar. 2023. 6 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/79156418/artigo-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-consumidor-de-produtos-de-biocontrole>. Acesso em: 07 de jul. de 2025.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas. **Embrapa Meio Ambiente**, 2009. 341 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17182/1/livro_biocontrole.pdf. Acesso em: 01 de mar. de 2025.

BEZERRA, G. A., *et al.* Identificação e seleção de espécies de Trichoderma spp. endofíticos de bromélias de restingas como agentes de biocontrole da fusariose em frutos de abacaxi. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 45, p. 172-178, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/jNSyP4b9tdhssQyBxYrGmZw/>. Acesso em: 30 de mar. de 2025.

BORTOLIN, G. S., *et al.* Trichoderma na promoção do desenvolvimento de plantas de Paspalum regnellii Mez. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 135- 145, 2019. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/17087>. Acesso em: 30 de mar. de 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **AGROFIT - Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. [s.d.]. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 08 de mar. de 2025.

BRITO, R. A. dos S. **Colletotrichum truncatum, agente causal da antracnose da soja: uma comparação entre isolados obtidos de plantas assintomáticas e sintomáticas**. 2018. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019. doi:10.11606/T.11.2019.tde-29072019-101853. Acesso em: 08 de fev. de 2025.

CALIXTO, G. B. **Leveduras no controle de Colletotrichum truncatum e seu efeito na**

produtividade da soja. 2020. 38 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2020. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4821/5/Guilherme_Calixto_2020.pdf>. Acesso em: 23 de jun. de 2025.

CARVALHO, R. C. S. **Co-inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas no desenvolvimento e produtividade da soja.** 2023. 55 f. Dissertação (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade De Ciências Agrárias E Tecnológicas, Campus De Dracena, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/6c4825ba-37f5-4540-bf1e-d75b805ea9cd>. Acesso em: 29 de maio de 2025.

CASTRO, R. R. L. **Caracterização, transmissão, reação de cultivares e sensibilidade a fungicidas de Colletotrichum plurivorum associado à antracnose da soja.** 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11135/tde-23072019-121704/publico/Renata_Rebellato_Linhares_de_Castro.pdf. Acesso em: 05 de mar. de 2025.

CHANCLUD, E.; MOREL, J. B. Plant hormones: a fungal point of view. **Molecular plant pathology**, v. 17, n. 8, p. 1289-1297, 2016. Disponível em: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/mpp.12393>. Acesso em: 05 de jul. de 2025.

CHEN, W.; HU, Q. Secondary metabolites of *Purpureocillium lilacinum*. **Molecules**, v. 27, n. 1, p. 18, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules27010018>. Acesso em: 04 de abr. de 2025.

CHEN, Y. *et al.* A novel fungal strain, *Bjerkandera adusta* BK-1, as a promising broad-spectrum biological control agent against plant fungal diseases. **Biocontrol Science and Technology**, v. 32, n. 4, p. 515-519, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09583157.2021.1992347>. Acesso em: 27 de jul. de 2025.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos: Safra 2022/23, 3º levantamento.** V. 10, nº 1. Brasília/DF, 08/12/2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 02 de mar. de 2025.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: Safra 2024/25, 10º levantamento, julho 2025.** Brasília, DF: Conab, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 19 de jul. 2025.

DA SILVA, H. A. O. *et al.* Biocontrol of potato early blight and suppression of *Alternaria grandis* sporulation by *Clonostachys* spp. **Plant pathology**, v. 70, n. 7, p. 1677-1685, 2021. Disponível em: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ppa.13402>. Acesso em: 03 de mar. de 2025.

DAVID, G. Q. **Mecanismos de biocontrole e promoção de crescimento de cepas de Trichoderma na cultura da soja**. 2023. 175 f. Tese (Doutorado em [Agronomia: Especialidade: Sistemas de Produção]) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/9996719a-039c-43f6-a869-34716dd09fbe>. Acesso em: 02 de mar. de 2025.

DE PAULA, G. H. **Biochar como agente mitigador de impactos ambientais provocados pela atrazina**. 2020. 28f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/30885>. Acesso em: 06 de abr. de 2025.

DHANKHAR, R.; HOODA, A. Fungal biosorption-an alternative to meet the challenges of heavy metal pollution in aqueous solutions. **Environmental Technology**, v. 32, n. 5, p. 467–491, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21877528/>. Acesso em: 02 de abr. de 2025.

DIAS, M. D. *et al.* Biology, pathogenicity, and haplotype analyses of *Colletotrichum cliviae*: a novel soybean anthracnose agent in warm tropical areas. **Tropical Plant Pathology**, v. 43, p. 439-451, 2018. Disponível em: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/l1yzQx3l/>. Acesso em: 30 de mar. de 2025.

DI NAPOLI NUNES, B. H. *et al.* Growth of soybeans under the influence of biostimulant doses. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 7, p. e16542-e16542, 2025. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/16542/9292>. Acesso em: 28 de mar. de 2025.

DOW, L. *et al.* Streptomyces and their specialised metabolites for phytopathogen control—comparative in vitro and in planta metabolic approaches. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1151912, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1151912/full>. Acesso em: 24 de jun. de 2025.

EILENBERG, J.; HAJEK, A.; LOMER, C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. **BioControl**, 46: 387-400, 2001. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1014193329979>. Acesso em: 08 de mar. de 2025.

ELSHARBINY, E. A.; TAHER, M. A.; ELSEBAL, M. F. Activity of *Purpureocillium lilacinum* filtrates on biochemical characteristics of *Sclerotinia sclerotiorum* and induction of defense responses in common bean. **European Journal of Plant Pathology**, v. 155, n. 1, p. 39-52, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01748-5>. Acesso em: 05 de abr. de 2025.

EMBRAPA. Brasil é líder mundial em tecnologias de controle biológico. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*, Brasília, 6 set. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/46366490/brasil-e-lider-mundial-em-tecnologias-de-controle-biologico>. Acesso em: 06 de mar. de 2025.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo de soja dados econômicos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 23 de

abr. de 2025.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. A agricultura brasileira. In: **Plano Diretor da Embrapa 2020–2030**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira>. Acesso em: 19 de jul. de 2025.

FALKE, S. A.; DHOKE, P. K.; CHANDURKAR, R. S. Assessing the effect of different culture medias on *Colletotrichum capsici*, the pathogen responsible for anthracnose of chilli. **Journal of Plant Disease Sciences**. 2023. Disponível em: <https://journals.acspublisher.com/index.php/jpds/article/view/15872>. Acesso em: 27 de jul. de 2025.

FARBER, C. *et al.* Raman-based diagnostics of stalk rot disease of maize caused by *Colletotrichum graminicola*. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 722898, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2021.722898/full>. Acesso em: 24 de jul. de 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT. **Crops**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: https://www.undp.org/facs?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw9p24BhB_EiwA8ID5BrtwEByy82rQcew3yNaL7-ihvuArblxn8VBbb1tRzSh9hhOe4JlogRoC1VEQAvD_BwE. Acesso em: 03 de mar. de 2025.

FERRAZ, S.; DIAS, C. R. & FREITAS, L.G. (2010) – Controle de nematoides com práticas culturais. In: Zambolim, L. (Ed.) – **Manejo Integrado-Fitossanidade: Cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa: Editora UFV, 52 p. Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=209232&biblioteca=vazio&b-usca=autoria:%22ZAMBOLIM%22&qFacets=autoria:%22ZAMBOLIM%22&sort=&paginaacao=t&paginaAtual=1>. Acesso em: 06 de mar. de 2025.

FEHR, W. R. B. In: NORMAN, A. G. (Ed.). **Soybean Physiology, Agronomy, and Utilization**, New York: Academic Press, 1978. p. 119-155. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780125211604/soybean-physiology-agronomy-and-utilization>. Acesso em: 12 de mar de 2025.

FEHR, W. R., CAVINESS, C. E. **Stages of Soybean Development**, Iowa, Ames, Iowa State University of Science and Technology, 1977. 12 p. (Special Report, 80). Disponível em: <https://dr.lib.iastate.edu/entities/publication/58c89bfe-844d-42b6-8b6c-2c6082595ba3>. Acesso em: 26 de jun. de 2025.

FENG, X. *et al.* *Bjerkandera adusta* M1 inhibits the growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans* and fusarium wilt incidence in *Brassica napus* L. **Journal of Plant Pathology**, v. 103, no. 2, p. 483-491, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42161-021-00753-0>. Acesso em: 22 de mar. de 2025.

FORSEILLE, L. **Molecular and Pathological Differentiation of *Colletotrichum truncatum* from Scentless Chamomile and Legume Crops**. 2007. 122 p. Thesis Univ. of Saskatchewan, Canada, 2007. Disponível em: <https://harvest.usask.ca/items/094f36e1->

cd0b-4a5d-8fb5-feb030806c1e. Acesso em: 24 de mar. de 2025.

FOKKEMA, N. J. Opportunities and problems of control of foliar pathogens with micro-organisms. **Pesticide Science**, v. 37, n. 4, p. 411-416, 1993. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.2780370416>. Acesso em: 16 de abr. de 2025.

GHINI, R. HAMADA, E. BETTIOL, W. Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Cap. 1, – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 356 p. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/905258>>. Acesso em: 14 de jul. de 2025.

GOULART, A. C. P. Detecção e controle químico de *Colletotrichum* em sementes de soja e algodão. **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2009. 33 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/574033/1/DOC2009100.pdf>. Acesso em: 25 de jun. de 2025.

HARMAN, G. E. *et al.* Trichoderma species—opportunistic, avirulent plant symbionts. **Nature reviews microbiology**, v. 2, n. 1, p. 43-56, 2004. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrmicro797>. Acesso em: 27 de jun. de 2025.

HARTMAN, G. L.; RUPE, J. C.; SIKORA, E. J.; DOMIER, L. L.; DAVIA, J. A.; STEFFEY, K. L. Compendium of soybean diseases and pests. **American Phytopathological Society**, 2015, p. 201. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/book/10.1094/9780890544754>. Acesso em: 13 de mar. de 2025.

HEINFLING, A. *et al.* Purification and characterization of peroxidases from the dye-decolorizing fungus *Bjerkandera adusta*. **FEMS Microbiology Letters**, v. 165, n. 1, p. 43-50, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1998.tb13125.x>. Acesso em: 23 de jun. de 2025.

HOSSEINI, B.; VOEGELE, R.T.; LINK, T. I. Diagnosis of soybean diseases caused by fungal and oomycete pathogens: Existing methods and new developments. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 5, p. 587, 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2309-608X/9/5/587>>. Acesso em: 23 de jun. de 2025.

ITO, M. F. Principais doenças da cultura da soja e manejo integrado. **Nucleus**, v. 10, n. 3, p. 83-101, 2013. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/113202891/1041-libre.pdf?1712762911=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPrincipais_Doencas_Da_Cultura_Da_Soja_e.pdf&Expires=1721921432&Signature=GTfw-q7xt8l19e2eLwQ430AsUz4te6Fq-FR82Fs-Mfx9XhEW0wP-0vRB5~dZGDaMvGZR3BNaOjSKA-YLrwjqaywuSEF8cL~7UrG5X3RCNt9jIP1pi5ALJJ6HUilfVQ14bm8uYr66RlXLvl-RKKP2sowdS2A2bdz2MU87TktfBn1JwJGusB8ZoQ52utuNwGMF6TZbHC2Pnveg13a1wkNBanaOPQxHRRUK9EXSok0JqilBRRI6hVxPvuJhA4MrkB2ngXOAIVMTLavPdRfptkDnM4SNmkpY~OevdqLKApfG2D2vIv7TMLt1E1cssRTaMsjrXkXy4mfnM4pfJpWGBpuVw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 12 de mar. de 2025.

JANU, R. *et al.* Biochar surface functional groups as affected by biomass feedstock, biochar composition and pyrolysis temperature. **Carbon Resources Conversion**, v. 4, p. 36-46, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2021.01.003>. Acesso em: 28 de maio de 2025.

KHAN, M.; TANAKA, K. *Purpureocillium lilacinum* for plant growth promotion and biocontrol against root-knot nematodes infecting eggplant. **PLoS One**, v. 18, n. 3, p. e0283550, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10038259/>. Acesso em: 15 de mar. de 2025.

KLAHOLD, C. A. **Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) a ação de bioestimulante**. 2005. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2005. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/1349>. Acesso em: 12 de fev. de 2025.

KHALMURATOVA, I. *et al.* Diversity and plant growth-promoting effects of fungal endophytes isolated from salt-tolerant plants. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 30, n. 11, p. 1680, 2020. Disponível em: <https://www.jmb.or.kr/journal/view.html?doi=10.4014/jmb.2006.06050>. Acesso em: 15 de jul. de 2025.

KOHLER, T. R. **Leveduras: controle biológico de antracnose em soja e sensibilidade à fungicidas**. 2022. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2022. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/6101>. Acesso em: 27 de mar. de 2025.

LAMICHHANE, J. R. *et al.* Analysis of soybean germination, emergence, and prediction of a possible northward establishment of the crop under climate change. **European Journal of Agronomy**, v. 113, p. 125972, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030119301108?casa_token=QNHBUJD7cJYAAAAA:W6yRmbtP4MJTIhPkO1OExPH3oVqLlpBF9Pe43MrrEV2sdLEfojQ4btJRIUzU0SikQUJedlwKXpQ7. Acesso em: 25 de maio de 2025.

LENTEREN, J.C.; COCK, M.J.W.; BRODEUR, J.; BARRATT, B.I.P.; BIGLER, F.; BOLCKMANS, K.; HAAS, F.; MASON, P.G.; PARRA, J.R.P. Will the Convention on Biological Diversity put an end to biological control? **Revista Brasileira de Entomologia** 55: 1-5. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbent/a/cP4ZYSP49tYn5TGxd8xGQbM/?lang=en>. Acesso em: 07 de mar. de 2025.

LI, Suping *et al.* A Bjerkandera adust new strain as a potential biocontrol agent against wheat scab. **International Microbiology**, v. 25, n. 4, p. 831-838, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10123-022-00265-6>. Acesso em: 27 de jul. de 2025.

LIMA, M. A. O. **Potencial de fungos isolados da área de mineração para biocontrole de fitopatógenos de soja**. 2024. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas, Faculdade de Química, Curso de Licenciatura Plena em Química, Marabá, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/2350>. Acesso em: 30 de jun. de 2025.

2025.

LIN, Y.; REUVERS, H. Efficient estimation by fully modified GLS with an application to the Environmental Kuznets Curve. **arXiv preprint arXiv:1908.02552**, 2019. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1908.02552>. Acesso em: 26 de abr. de 2025.

LIU, J. Y., *et al.* Transaldolase gene Tal67 enhances the biocontrol activity of *Clonostachys rosea* 67-1 against *Sclerotinia sclerotiorum*. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, Philadelphia, v. 474, p. 503-508, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27130824/>. Acesso em: 30 de abr. de 2025.

MANJULA, A.; GAUTAM, A. K.; KUMAR, A. Trichoderma as Potential Biocontrol Agenton Diseases of Soybean (*Glycine max* L.): A Comprehensive Review. In: **Biol Forum—An Inte J.** 2024. p. 242-247. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Anupam-Kumar-26/publication/385299953_Trichoderma_as_Potential_Biocontrol_Agenton_Diseases_of_Soybean_Glycine_max_L_A_Comprehensive_Review/links/671f5791acba566ad5064dae/Trichoderma-as-Potential-Biocontrol-Agenton-Diseases-of-Soybean-Glycine-max-L-A-Comprehensive-Review.pdf. Acesso em: 12 de mar. de 2025.

MARTINI, P. *et al.* timeClip: pathway analysis for time course data without replicates. **BMC bioinformatics**, v. 15, n. Suppl 5, p. S3, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/1471-2105-15-S5-S3>. Acesso em: 26 de abr. de 2025.

MASCARIN, G. M. *et al.* Produção industrial de Trichoderma. In: MEYER, Maurício Conrado; MAZARO, Sérgio Miguel; DA SILVA, Juliano Cesar (org.). **Trichoderma: Uso na agricultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019. p. 255–274. Disponível em: <file:///C:/Users/Proprietario/Downloads/Mascarin-producao-industrial-2019.pdf>. Acesso em: 30 de jun. de 2025.

MASCARIN, G.I. M. *et al.* *Clonostachys rosea*: Produção por cultura submersa e bioatividade contra *Sclerotinia sclerotiorum* e *Bemisia tabaci*. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 851000, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2022.851000/full>. Acesso em: 15 de mar. de 2025.

MCCOMBE, C. L. *et al.* Molecular plant immunity against biotrophic, hemibiotrophic, and necrotrophic fungi. **Essays in Biochemistry**, v. 66, n. 5, p. 581-593, 2022. Disponível em: <https://portlandpress.com/essaysbiochem/article/66/5/581/231321/Molecular-plant-immunity-against-biotrophic>. Acesso em: 01 de jul. de 2025.

MEIRA, Luiz Antônio. **USPLeaf**: software de processamento digital de imagens para obtenção da área foliar em espécies forrageiras. 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão e Inovação na Indústria Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2020. Disponível em: [doi:10.11606/D.74.2020.tde-26042021-132544](https://doi.org/10.11606/D.74.2020.tde-26042021-132544). Acesso em: 08 de dez. de 2025.

MELLO, S. C. M.; ÁVILA, Z. R.; BRAÚNA, L. M.; PÁDUA, R. R.; GOMES, D. Cepas de *Trichoderma* spp. para El control biológico de *Sclerotium rolfsii* SACC. **Fitosanidad**, v. 11, n. 1, 2007. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/51023009_Cepas_de_Trichoderma_spp_para_el_control_biologico_de_Sclerotium_rolfsii_Sacc. Acesso em: 16 de mar. de 2025.

MENEZES, M. Aspectos biológicos e taxonômicos de espécies do gênero *Colletotrichum*, **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 3, p. 170-179, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34611/1/AAPCA-V3-Revisao-04.pdf>. Acesso em: 13 de mar. de 2025.

MEYER, M. C.; KLEPKER, D. Manejo da antracnose em soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 32 (Suplemento). XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Maringá, PR, agosto de 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/470260/1/Manejodaantracnoseemsoja.pdf>. Acesso em: 23 de abr. de 2025.

MORANDI, M. A. B.; POMELLA, A. W. V.; SANTOS, E. R.; FERNANDES, M.; CAOVILO, L. E.; FERNANDES, A. O. Seleção de isolados de *Trichoderma* spp. para o controle de *Sclerotinia sclerotiorum*, agente causal do mofo-branco do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 157-166, 2006. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1026272?locale=pt_BR. Acesso em: 02 de mar. de 2025.

MORILLO, E.; VILLAVERDE, J. Advanced technologies for the remediation of pesticide-contaminated soils. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 586, p. 576-597, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717302619>. Acesso em: 04 de mar. de 2025.

MOTTA, G. P. **Controle químico de *Colletotrichum truncatum* e *Colletotrichum cliviae*, agentes causais da antracnose da soja**. 2018. 34 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/25013>. Acesso em: 30 de abr. de 2025.

NAGAI, Alice. **Interação planta-patógeno: análises químicas em *Solanum pimpinellifolium* L. e *Solanum lycopersicum* 'VFNT' infectadas pelo tomato mottle mosaic virus**. 2017. Tese (Doutorado em Botânica) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/T.41.2018.tde-22012018-111200. Acesso em: 18 de jun. de 2025.

NEUMAIER, N. *et al.* Ecofisiologia da soja. In: SEIXAS *et al.* **Tecnologias de produção de soja**. Londrina/PR: Embrapa Soja, 2020. p.33-54. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1128387/1/p.-33-54-de-SP-17-2020-online.pdf>. Acesso em: 20 de jun. de 2025.

PADDER, Bilal A. *et al.* Transcriptome profiling of the *Phaseolus vulgaris*-*Colletotrichum lindemuthianum* pathosystem. **PLoS One**, v. 11, n. 11, p. e0165823, 2016. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0165823>. Acesso em: 25 de jul. de 2025.

PARRA, J. R. P. *et al.* **Controle biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira**. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2024. Disponível

em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Fr3vEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=controle+biologico+defini%C3%A7%C3%A3o&ots=VEaQnx7zNS&sig=JVQ EJvr_rG2YIkwMj6GNyTLpVZQ#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 06 de mar. de 2025.

PATINHA, C., *et al.* Long-term application of the organic and inorganic pesticides in vineyards: environmental record of past use. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 88, p. B, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.05.014>. Acesso em: 03 de mar. de 2025.

PREISIGKE, S. C.; *et al.* Early selection of Passiflora species resistant to fusariosis. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 43, n. 4, p. 321- 325, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/175390>. Acesso em: 23 de jun. de 2025.

RAZA, M. M. *et al.* Time of Soybean Sudden Death Syndrome Foliar Symptom Onset Influences Final Disease Intensity, Yield, and Yield Components. **Plant Disease**, v. 106, n. 9, p. 2392-2402, 2022. Disponível em: <<https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-07-21-1551-RE>>. Acesso em: 30 de abr. de 2025.

REIS, E, M.; BARUFFI, D.; REMOR, L.; ZANATTA, M, Decomposition of corn and soybean residues under field conditions and their role as inoculum source, **Summa Phytopathologica**, v, 37, n, 1, p, 65-67, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sp/a/Lc4hQb9rb96NCVwwZT3NMgC/?lang=en>. Acesso em: 13 de mar. de 2025.

RIGOBELLO, E. C. *et al.* Purpureocillium lilacinum como agente de controle de nematoides e fungos promotores de crescimento vegetal. **Agronomia**, v. 14, n. 6, p. 1225, 2024. Disponível em em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/6/1225>. Acesso em: 14 de mar. de 2025.

RODRIGUEZ, M. A. *et al.* Clonostachys rosea BAF3874 as a Sclerotinia sclerotiorum antagonist: mechanisms involved and potential as a biocontrol agent. **Journal of applied microbiology**, v. 110, n. 5, p. 1177-1186, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.04970.x>. Acesso em: 03 de abr. de 2025.

ROESE, A. D.; ROMANI, R. D.; FURLANETTO, C.; STANGARLIN, J.R.; PORTZ, R.L. Levantamento de doenças na cultura da soja, Glycine max (L.) Merrill, em municípios 37 da região Oeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 5, p. 1293-1297, 2001. Disponível em: <file:///C:/Users/Proprietario/Downloads/2599-Texto%20do%20artigo-8813-1-10-20080509.pdf>. Acesso em: 23 de jun. de 2025.

ROONEY, T. E. *et al.* Malting quality and preharvest sprouting traits are genetically correlated in spring malting barley. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 136, n. 3, p. 59, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00122-023-04257-6>. Acesso em: 01 de jul. de 2025.

ROSAS-PUCHURI, U. *et al.* Non-linear phylogenetic regression using regularised kernels. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 15, n. 9, p. 1611-1623, 2024. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/2041-210X.14385>. Acesso em: 20 de abr. de 2025.

- ROYSE, D. J.; RIES, S. M. The influence of fungi isolated from peach twigs on the pathogenicity of *Cytospora cincta*. **Phytopathology**, v. 68, n. 4, p. 603-607, 1978. Disponível em: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1978Articles/P_hyto68n04_603.pdf. Acesso em: 28 de maio de 2025.
- ROMEIRO, R. da S. **Controle Biológico de Doenças de Plantas: Fundamentos**. Viçosa, 2007. 269 p.
- SANTANA, Pedro Kauan Araujo de. **Efeito de óleos essenciais no tratamento de sementes de feijão-caupi**. 2025. 21 f. Artigo (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual do Piauí, Teresina, 2025. Disponível em: <https://sistemas2.uespi.br/handle/tede/2460>. Acesso em: 08 de dez. de 2025.
- SARZI, J. S. *et al.* Biocontrole da podridão vermelha da raiz e promoção de crescimento da soja. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 629-635, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6818/6426>. Acesso em: 03 de jun. de 2025.
- SAATH, K. C. O. FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, DF, v. 56, p. 195-212, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/DdPXZbMzxy89xBDg3XCTgr/>. Acesso em: 03 de maio de 2025.
- SCHAKER, P. D. C *et al.* Metabolome dynamics of smutted sugarcane reveals mechanisms involved in disease progression and whip emission. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 882, 2017. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2017.00882/full>. Acesso em: 07 de jul. de 2025.
- SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenias, p.314, 2009.
- SHUPING, D. S. S.; ELOFF, J. N. The use of plants to protect plants and food against fungal pathogens: A review. **African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines**, v. 14, n. 4, p. 120-127, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28638874/>. Acesso em: 24 de mar. de 2025.
- SIGMA-ALDRICH**. Composição e uso de meios de cultura para fungos. [S.l.]: Sigma-Aldrich, 2025. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com>. Acesso em: 30 de maio de 2025.
- SILVA, A. F. C. Pragas, patógenos e plantas na história dos sistemas agroecológicos - Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Humanas**, v. 17, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bgoeldi/a/Mbq6Y7FDNBPg8qtx94Kr3Nx/>. Acesso em: 30 de abr. de 2025.
- SILVA, B, S. **Sensibilidade de isolados de colletotrichum truncatum da soja a fungicidas**, 2018, 109 f, Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2018. Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UPF->

1_44d2a9166f4381c24491bf6eee21e717. Acesso em: 05 de mar. de 2025.

SILVA, F. *et al.* **Soja: do plantio à colheita**. 2. ed. - São Paulo. Oficina de Textos, 2022. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=azOAEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT7&dq=soja&ots=O5Sov0Sjfd&sig=stM9U5JtuPUKCxluSeOaRiPHRtc#v=onepage&q&f=true. Acesso em: 30 de abr. de 2025.

SIQUEIRA, A. H. **Tratamento de solo agrícola contaminado com atrazina por fungos filamentosos imobilizados em carvão ativado**. 2024. Tese de Doutorado - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, PR. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/items/ad61d94a-6682-49a0-8d05-8f55a056ad18>. Acesso em: 30 de abr. de 2025.

SOLAIMAN, Z. M.; ABBOTT, Lynette K.; MURPHY, Daniel V. Biochar phosphorus concentration dictates mycorrhizal colonisation, plant growth and soil phosphorus cycling. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 5062, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-41671-7>. Acesso em: 24 de jun. de 2025.

SOLOS, Embrapa *et al.* Manual de métodos de análise de solo. **Rio de Janeiro**, v. 997, p. 212, 1997. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/330804/1/Manualdemetodosdeanalisedesolo2ed1997.pdf>. Acesso em: 08 de dez. de 2025.

SUN, Z. B. *et al.* Biology and applications of *Clonostachys rosea*. **Journal of applied microbiology**, v. 129, n. 3, p. 486-495, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jam.14625>. Acesso em: 23 de jun. de 2025.

SUN, L. *et al.* *Bacillus velezensis* BVE7 as a promising agent for biocontrol of soybean root rot caused by *Fusarium oxysporum*. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1275986, 2023. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2023.1275986/full>. Acesso em: 19 jun. de 2025.

THENVEETIL, Naflath *et al.* Temperature and elevated CO₂ alter soybean seed yield and quality, exhibiting transgenerational effects on seedling emergence and vigor. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1427086, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1427086/full>. Acesso em: 19 jun. 2025.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). *Oilseeds: World Markets and Trade*. Foreign Agricultural Service, Jul. 2024. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf> e <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>. Acesso em: 19 jul. 2025.

VIEIRA, B. L. **Desempenho agrônômico de genótipos de soja e cruzamentos potenciais para ciclo e produtividade**. 2020. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em:

<<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/30264/5/DesempenhoAgron%c3%b4micoDe.pdf>>. Acesso em: 19 de jul. 2025.

VIS, M. A. M.; ITO, K.; HOFMANN, S. Impact of culture medium on cellular interactions in in vitro co-culture systems. **Frontiers in bioengineering and biotechnology**, v. 8, p. 911, 2020. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2020.00911/full>>. Acesso em: 19 de jul. 2025.

YU, S. F. *et al.* Biocontrol of Three Severe Diseases in Soybean. **Agriculture**, v. 12, n. 9, p. 1391, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/9/1391>. Acesso em: 04 de jun. de 2025.

YUAN, X. *et al.* Impacts of global climate change on agricultural production: a comprehensive review. **Agronomy**, v. 14, n. 7, p. 1360, 2024. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4395/14/7/1360>>. Acesso em: 04 de jun. de 2025.

WANG, C.; VLASÁK, J.; DAI, Y. Phylogeny and diversity of *Bjerkandera* (*Polyporales*, *Basidiomycota*), including four new species from South America and Asia. **MycoKeys**, v. 79, p. 149, 2021. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8093185/>. Acesso em: 25 de mar. de 2025.

WANG, Q. *et al.* Exploring plant growth-promoting traits of endophytic fungi isolated from ligusticum chuanxiong hort and their interaction in plant growth and development. **Journal of Fungi**, v. 10, n. 10, p. 713, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2309-608X/10/10/713>. Acesso em: 09 de jul. de 2025.

WEBER, K; QUICKER, P. Properties of biochar. **Fuel**, v. 217, p. 240-261, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236117316216?casa_token=ig5ZdM8j1_4AAAAA:fmxsC1YR7OcHaRUgCF7TYBP2tFyZr719s1EeMWaY0j31wUso9jWklHUiyhrmdMKxjx8A1lts_b_N. Acesso em: 23 de maio de 2025.

WU, H. *et al.* Preparation of dry flowable formulations of *Clonostachys rosea* by spray drying and application for *Sclerotinia sclerotiorum* control. **Journal of integrative agriculture**, v. 17, n. 3, p. 613-620, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61811-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61811-2). Acesso em: 23 de mar. de 2025.

WYSMIERSKI, Philip Traldi; VELLO, Natal Antonio. The genetic base of Brazilian soybean cultivars: evolution over time and breeding implications. **Genetics and molecular Biology**, v. 36, p. 547-555, 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/gmb/a/tYhyLGQzFRbX9tYP4MqbNgB/>>. Acesso em: 23 de jun. de 2025.

ZAMBOLIM, L. - Proteção de plantas: **Manejo Integrado de Doenças de Plantas**. Viçosa, 88 p., 2010.

ZAMBOLIN, L.; CHAVES, G. M. Conceito de doenças em plantas. In: ZAMBOLIN, L.; JESUS JÚNIOR, W. C.; PEREIRA, O. L. **O essencial da fitopatologia: agentes causais**. Viçosa: UFV, 2012. cap. 1, p. 1-18.

ZAPANA-HUARACHE, S. V. *et al.* Chromium (VI) bioremediation potential of filamentous fungi isolated from Peruvian tannery industry effluents. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 51, n. 1, p. 271–278, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31865533/>. Acesso em: 26 de mar. de 2025.

ZHELEZOVA, A.; CEDERLUND, H.; STENSTRÖM, J. Effect of biochar amendment and ageing on adsorption and degradation of two herbicides. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 228, n. 6, p. 216, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-017-3392-7>. Acesso em: 23 de maio. de 2025.

ZHOU, X. *et al.* The organ size and morphological change during the domestication process of soybean. **Frontiers in plant science**, v. 13, p. 913238, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.913238/full>. Acesso em: 23 de jun. de 2025.