



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTÁI  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROTEÇÃO DE PLANTAS

**INTERAÇÃO ENTRE *Pratylenchus brachyurus* E *Macrophomina phaseolina* NA CULTURA DA SOJA**

**DÉBORA COUTO FONSECA LUIZ**  
Eng. Agrônoma

Urutá – GO  
2022

**DÉBORA COUTO FONSECA LUIZ**

**INTERAÇÃO ENTRE *Pratylenchus brachyurus* E *Macrophomina phaseolina* NA CULTURA DA SOJA**

Orientador: Prof. Dr. Nadson de Carvalho Pontes

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas para obtenção do título de MESTRE.

Urutaí – GO  
2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

LL953i Luiz, Débora Couto Fonseca  
INTERAÇÃO ENTRE *Pratylenchus brachyurus* E  
*Macrophomina phaseolina* NA CULTURA DA SOJA / Débora  
Couto Fonseca Luiz; orientador Nadson de Carvalho Pontes; co-  
orientador Fernando Godinho de Araújo. --  
Urutaí, 2022.  
41 p.

Dissertação (Mestrado em Pós Graduação em Proteção de  
Plantas) -- Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2022.

1. [*Glycine max* (L.) Merrill]. 2. Interação planta-patógeno. 3.  
Patógenos de solo. I. de Carvalho Pontes, Nadson, orient. II.  
Godinho de Araújo, Fernando, co-orient. III. Título.

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                  | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização)       | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                   | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Débora Couto Fonseca Luiz

Matrícula:

2020101330540059

Título do trabalho:

INTERAÇÃO ENTRE *Pratylenchus brachyurus* E *Macrophomina phaseolina* NA CULTURA DA SOJA

### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 13 /04 /2022

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

• Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;

• Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

• Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Patos de Minas, Minas Gerais    13 /04 /2022

Local

Data

*Débora Couto Fonseca*

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

**NADSON DE CARVALHO**  
PONTES:00555510336

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
 SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 2/2022 - GPGPI-MO/CMPMHOS/IFGOIANO

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**

**ATA Nº 80**

**BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Aos onze dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e dois, às 09h00min (nove horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de DÉBORA COUTO FONSECA LUIZ, discente do Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas do Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí. A sessão foi aberta pelo(a) presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Nadson de Carvalho Pontes, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas, e procedidas às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM PROTEÇÃO DE PLANTAS**, na área de concentração em Fitossanidade, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do Programa Pós-Graduação em Proteção de Plantas da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até 60 (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Prof. Dr. Nadson de Carvalho Pontes	IF Goiano Campus Morrinhos	Presidente
Prof <sup>a</sup> . Dr <sup>a</sup> . Marcia Michelle de Queiroz Ambrósio	Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)	Membro externo

Profª. Drª. Karla Vilaça Martins	Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM)	Membro externo
----------------------------------	---	----------------

Documento assinado eletronicamente por:

- **Karla Vilaça Martins, Karla Vilaça Martins - 3331 - INSTRUTORES E PROFESSORES DE CURSOS LIVRES - Instituto Federal Goiano (1)**, em 11/02/2022 11:42:23.
- **Marcia Michelle de Queiroz Ambrósio, Marcia Michelle de Queiroz Ambrósio - 2034 - PESQUISADORES DAS CIÊNCIAS DA AGRICULTURA - Instituto Federal Goiano (1)**, em 11/02/2022 11:42:04.
- **Nadson de Carvalho Pontes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 11/02/2022 11:38:34.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 357432  
Código de Autenticação: dd81420dae



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Morrinhos  
Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, None, MORRINHOS / GO, CEP 75650-000  
(64) 3413-7900

## AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço pela vida, força e sabedoria para realizar esse trabalho.

Aos meus pais Dilton e Zeneide, por serem meu alicerce, pelo amparo, amor e por me transmitirem força e coragem para enfrentar os desafios.

Aos meus irmãos Diogo, Pedro e Flávia pelas orações e incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu esposo Henrique, pela ajuda, cuidado, carinho e compreensão para concretização deste trabalho.

A minha amiga Adriane, pela amizade, força e incentivo.

A todos os familiares e amigos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Instituto Federal Goiano, e ao Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas, pela oportunidade e pela qualidade de ensino que permitiu ampliar meus conhecimentos.

Ao professor e orientador Nadson de Carvalho Pontes pela disponibilidade em sua orientação, sugestões e pelos conhecimentos e experiências a mim repassados.

Ao co-orientador Fernando Godinho de Araújo pelo incentivo e apoio para a realização deste trabalho.

Ao João Pedro Elias Gondim e toda a equipe do Laboratório de Fitopatologia do Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos pela colaboração nas avaliações dos experimentos.

Ao professor Marco Freitas, pelo apoio e suporte e a todos os Professores e Funcionários do Instituto Federal Goiano.

À Lallemand Plant Care Brasil pela confiança depositada a mim, apoio e incentivo a educação para o meu crescimento e desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos gestores Kelly Pazolini e Cleiton Burnier pelo apoio e colaboração na realização deste trabalho.

Aos meus colegas de profissão e mestrado, Rejanne Ribeiro e Ronnie Carlos pelo companheirismo, auxílio e suporte na realização deste trabalho.

A todos do meu time, em especial aos integrantes do time de Desenvolvimento de Produtos, Allan Marciano e Lucas Castro pela ajuda, incentivo e carinho durante a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA SOJA E SUA IMPORTÂNCIA ECONÔMICA .....	2
2.2. NEMATOIDES QUE AFETAM A CULTURA DA SOJA.....	3
2.3. PODRIDÃO DO CARVÃO .....	5
2.4. INTERAÇÃO ENTRE FUNGOS DE SOLO E NEMATOIDES .....	6
3 OBJETIVOS.....	7
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	8
4.1. LOCAL.....	8
4.2. PREPARO DO INÓCULO E INOCULAÇÃO DE <i>Macrophomina phaseolina</i> .....	8
4.3. PREPARO DO INÓCULO E INOCULAÇÃO DE <i>Pratylenchus brachyurus</i> .....	11
4.4. DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	13
4.5. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	13
4.6. AVALIAÇÕES DA SEVERIDADE DA DOENÇA.....	14
4.7. AVALIAÇÕES DE NEMATOIDES .....	15
4.8. DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS E TROCAS GASOSAS .....	15
5 RESULTADOS.....	17
5.1. EXPERIMENTO I .....	17
5.2. EXPERIMENTO II .....	21
6 DISCUSSÃO.....	25
7 CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS .....	29

## RESUMO

A soja é a principal commodity no Brasil e ocupa uma área de aproximadamente 39,9 milhões de hectares. No entanto, o rendimento da cultura ainda é afetado pela susceptibilidade a pragas e doenças radiculares, algumas ampliadas pela associação fungo-nematoide. A associação entre dois ou mais fitopatógenos pode desencadear na planta uma expressão exacerbada dos sintomas, afetando negativamente o crescimento e desenvolvimento do vegetal. Dois experimentos foram desenvolvidos em casa de vegetação com o objetivo de avaliar a interação entre *Pratylenchus brachyurus* e *Macrophomina phaseolina* na cultura da soja. Os experimentos foram instalados com o delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC). O experimento I, foi composto por 5 tratamentos e 10 repetições, com a semeadura em vasos de 900mL, sendo as plantas conduzidas até 70 dias após a semeadura (DAS). O experimento II foi composto por 5 tratamentos e 15 repetições, com semeadura em vasos de 8L, onde as plantas foram conduzidas até os 105 dias após a semeadura (DAS), de modo a permitir avaliação da produção. Os tratamentos avaliados foram: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. solo infestado com inóculo de *M. phaseolina* na ocasião da semeadura; iii. solo infestado com *M. phaseolina* na ocasião da semeadura e com *P. brachyurus* sete dias após a semeadura; iv. solo infestado com *P. brachyurus* sete dias após a semeadura e v. solo infestado com *P. brachyurus* sete dias após a semeadura e *M. phaseolina* 14 dias após a semeadura. Avaliou-se a severidade das lesões em raízes, número de nematoides no solo e raiz, desenvolvimento de plantas, componentes de rendimento e análises de trocas gasosas. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software estatístico Minitab. Em uma análise geral, concluiu-se que o dano causado pela interação entre *P. brachyurus* e *M. phaseolina*: (i) provoca o aumento da severidade quando predisposta por *P. brachyurus* e em condições de temperaturas mais altas; (ii) não corrobora para o aumento populacional de nematoides no solo e na raiz; (iii) não interfere na fotossíntese (A), uma vez que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos inoculados com fitopatógenos habitantes de solo; (iv) acarreta decréscimo aos parâmetros de desenvolvimento das plantas quando a infecção ocorre inicialmente por *P. brachyurus* e (v) para algumas das variáveis analisadas, a interação predisposta por *P. brachyurus* apresentou um efeito sinérgico confirmando a hipótese de que o nematoide abre portas para a infecção fúngica e pode acarretar a potencialização do dano e a redução da produtividade.

**Palavras-chave:** [*Glycine max* (L.) Merrill]; interação planta-patógeno; patógenos de solo.

## ABSTRACT

Soybean is the main commodity in Brazil and occupies an area of approximately 39.9 million hectares. However, crop yield is still affected by susceptibility to pests and root diseases, some of which are amplified by the fungus-nematode association. The association between two or more phytopathogens can cause an exacerbated expression of symptoms in the plant, negatively affecting the growth and development of the plant. Two experiments were performed in a greenhouse with the objective of evaluating the interaction between *Pratylenchus brachyurus* and *Macrophomina phaseolina* in soybean. The experiments were installed in a randomized block (DBC) experimental design. Experiment I consisted of 5 treatments and 10 replications, with sowing in 900mL pots, and the plants were conducted up to 70 days after sowing (DAS). Experiment II consisted of 5 treatments and 15 replications, with sowing in 8L pots, where the plants were conducted up to 105 days after sowing (DAS), in order to allow production evaluation. The treatments evaluated were: i. plants without soil infestation (control); ii. soil infested with *M. phaseolina* inoculum at the time of sowing; iii. soil infested with *M. phaseolina* at the time of sowing and with *P. brachyurus* seven days after sowing; iv. soil infested with *P. brachyurus* seven days after sowing and v. soil infested with *P. brachyurus* seven days after sowing and *M. phaseolina* 14 days after sowing. The severity of lesions on roots, number of nematodes in the soil and root, plant development, yield components and gas exchange analysis were evaluated. Statistical analyzes were performed using Minitab statistical software. In a general analysis, it was concluded that the damage caused by the interaction between *P. brachyurus* and *M. phaseolina*: (i) causes an increase in severity when predisposed by *P. brachyurus* and in conditions of higher temperatures; (ii) does not support the increase in nematode population in soil and roots; (iii) does not interfere with photosynthesis (A), since there was no statistically significant difference between treatments inoculated with soil-dwelling phytopathogens; (iv) it causes a decrease in plant development parameters when the infection initially occurs by *P. brachyurus* and (v) for some of the analyzed variables, the interaction predisposed by *P. brachyurus* presented a synergistic effect, confirming the hypothesis that the nematode opens doors for fungal infection and can lead to increased damage and reduced productivity.

**Key words:** [*Glycine max* (L.) Merrill]; plant-pathogen interaction; soil pathogens.

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) é a principal commodity brasileira. Na safra 2020/21, a cultura ocupou uma área de aproximadamente 39,9 milhões de hectares, que foi responsável por uma produção estimada de 140,7 milhões de toneladas, conferindo ao Brasil o título de maior produtor mundial da oleaginosa (CONAB, 2021). A produtividade da safra 2020/21 apresentou uma variação positiva de 2,5% em relação à safra 2019/20 devido ao aumento na área plantada associado as boas condições de plantio e de desenvolvimento das plantas (FAO, 2018). No entanto, o rendimento ainda é afetado pela susceptibilidade da cultura à doenças e pragas (CONAB, 2021; LIU et al., 2015).

No solo, existem oportunidades para associações entre fitopatógenos quando eles ocupam o mesmo nicho ecológico. Mesmo que o antagonismo entre microrganismos que habitam o solo ocorra, devido a competição por espaço e nutrientes, existe a possibilidade de uma interação sinérgica entre fungos-nematóides fitopatogênicos. Essa interação, em alguns casos, pode causar danos ainda maiores às plantas e são considerados como os principais fatores bióticos que impactam negativamente o rendimento da cultura da soja (BACK et al., 2002; CASTILLO; VOVLAS, 2007). Um exemplo dessas interações, é que a murcha do *Fusarium* causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* na maioria das vezes é mais severa na cultura do algodão e pode causar elevadas perdas na presença do nematoide das galhas (*Meloidogyne* spp.) (ATKINSON, 1892). Além deste, um outro problema relatado são as murchas causadas por *Verticillium* spp. que também podem ser influenciadas na presença de nematoides parasitas de plantas, mas principalmente pela interação com *Pratylenchus* spp. (MAI et al. 1987).

Nematoides da espécie *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey, 1929) Filipjev & Schuurmans Stekhoven, 1941 são referidos como “nematoides das lesões radiculares” devido às lesões necróticas características causadas pela espécie. No Brasil, ocupam o segundo grupo de fitonematoides mais importantes para a agricultura devido a sua ampla distribuição geográfica, alto grau de polifagia e ação patogênica em muitas culturas de interesse econômico. No entanto, atualmente na cultura da soja, as perdas aumentaram muito nas últimas safras, isso porque o nematoide vem se beneficiando das mudanças no sistema de produção e a incorporação de áreas com solos de textura arenosa aumentou ainda mais a vulnerabilidade da cultura (Dias e outros, 2010). No levantamento realizado na safra 2008/2009, Ribeiro et al.

(2010) constataram que o *P. brachyurus* tornou-se um dos principais problemas na produção de soja em sistema plantio direto, principalmente nas regiões de cerrado, como no Mato Grosso, onde o nematoide esteve presente em 96,4% das 411 amostras coletadas. No estado do Tocantins, considerado o maior celeiro para produção de grãos do Norte, Lima et al. (2012) encontraram a ocorrência de *P. brachyurus* em todas as amostras coletadas no estado, ressaltando que a infestação está aumentando com interferência negativa na produtividade da soja.

*P. brachyurus* é um endoparasita migratório, que penetra nas raízes pela ação mecânica de seu estilete e secreta enzimas que promovem a destruição e desorganização celular, causando sua decomposição e deixando portas de entrada para o ataque de outros patógenos, como fungos e bactérias (FRANCILINO et al. 2017). Tanto na fase juvenil como adulta podem penetrar nas raízes. No entanto, estimativas precisas de perdas potenciais de produtividade causadas por *P. brachyurus* ainda são pouco elucidadas.

Outra importante doença é a podridão de carvão na soja causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goidanich. A doença afeta raízes e caule levando a lesões de coloração marrom-escura e, conseqüentemente, à murcha que podem ser agravadas pelo déficit hídrico, altas temperaturas e compactação do solo (HEMMATI et al., 2018; DAVE et al., 2020). O controle é dificultado devido à produção de estruturas de resistência do patógeno durante a decomposição de restos culturais infectados. Ainda não existem cultivares de soja resistentes a este fitopatógeno e medidas de controle como a rotação de culturas podem diminuir o inóculo inicial, porém, não eliminam todo o inóculo da área (LODHA & MAWAR, 2020). Perdas ocorrentes podem variar de 5 a 50%, e podem ser agravadas pelas condições bióticas e abióticas e pelo grau de suscetibilidade do hospedeiro (YANG; NAVI, 2005, ISHIKAWA et al., 2018).

Assim, entender a relação entre fitopatógenos que ocupam o mesmo nicho ecológico e tem a mesma espécie hospedeira é de fundamental importância. No campo, sabe-se que os ferimentos causados pelo nematoide das lesões radiculares podem ser porta de entrada para *M. phaseolina* e outros fungos causadores de doenças. No entanto, ainda não existem relatos na literatura acerca desta associação. Portanto torna-se necessário avaliar a interação entre *Pratylenchus brachyurus* e *Macrophomina phaseolina* na cultura da soja.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA SOJA E SUA IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

A soja é uma planta herbácea originária da região central da China que foi posteriormente, disseminada para Europa, América do Norte e América do Sul. Sua introdução no Brasil se deu por volta de 1882, na região da Bahia (VERNETTI, 1983). Possui caule híspido e com poucas ramificações, folhas trifoliadas, com exceção do primeiro par acima do nó cotiledonar. Pode apresentar crescimento indeterminado, determinado ou semi-determinado. Ao final do seu ciclo, a soja desenvolve vagens, que são estruturas responsáveis por abrigar as sementes. Estas, por sua vez, possuem morfologia lisa, elíptica ou globosa, de tegumento amarelo pálido, com hilo preto, marrom ou amarelo-palha. As plantas podem atingir dimensões entre 60 a 110 centímetros, dependendo da cultivar e das condições edafoclimáticas nas quais a cultura é cultivada (NEPOMUCENO et al., 2021).

As variedades comerciais de soja acumulam um percentual de 36% de proteínas e 18% de óleo em suas sementes. No processamento do grão, cerca de 21% é destinado a produção do óleo de soja, utilizado como produto alimentício e para produção de biodiesel. O farelo, correspondendo a 79% do subproduto gerado, é destinado à fabricação de ração animal e é considerado “padrão ouro” de suplemento proteico quando comparado com outras fontes do mesmo nutriente (CROMWELL, 1999).

Para a safra 2021/2022, a perspectiva é que sejam produzidas 141,26 milhões de toneladas de soja (CONAB, 2021). No entanto, estima-se uma produção de apenas 0,29% maior do que a anterior (CONAB, 2021). Esta porcentagem está entre outros fatores relacionada à problemas que afetam os altos rendimentos da cultura como a susceptibilidade a fitopatógenos. Os efeitos nos índices econômicos de cada doença varia de ano para ano e de região para região, dependendo das condições climáticas de cada safra (AGROPECUÁRIA, 2013).

### 2.2 NEMATOIDES QUE AFETAM A CULTURA DA SOJA

Dentre os principais nematoides que atacam a soja, destacam-se os formadores de galha, *Meloidogyne incógnita* (Kofoid & White) Chitwood e *M. javanica* (Treub), nematoide do cisto

da soja, *Heterodera glycines*, e os nematoides das lesões radiculares, representado principalmente espécie *Pratylenchus brachyurus*. Esses tem recebido cada vez mais atenção e prioridade para o registro de produtos e tecnologias de controle no Brasil devido o aumento dos danos causados (BRASIL, 2015; BRASIL, 2016). Todas as espécies de nematoides fitoparasitas caracterizam-se pela baixa mobilidade no solo e desencadeiam sintomas reflexos semelhantes de infecção, que geralmente são observados no campo em reboleiras. Estas áreas contêm plantas com sintomas inespecíficos, em alguns casos as plantas apresentam baixo porte, deficiências nutricionais e os sintomas podem ainda ser facilmente confundidos com outros sintomas causados por outros patógenos. Estes fatores são ainda mais agravados pela alta compactação do solo e pelo déficit hídrico (KIMATI et al., 1997).

Uma das espécies que mais tem se destacado nos últimos anos são os nematoides das lesões radiculares, *P. brachyurus*, uma vez que têm causado elevadas perdas econômicas devido aos danos crescentes em várias regiões do Brasil, especialmente no cerrado (região Centro-Oeste) (JUHÁSZ et al. 2013). Os cultivos frequentes a cada safra de soja e milho em sucessão é uma das hipóteses que explicam a maior presença deste nematoide.

As fêmeas de *P. brachyurus* depositam os ovos no interior das raízes ou no solo próximos às raízes, e produzem em média de 80 até 150 ovos durante a vida. De acordo com Goulart (2008), o ciclo de vida do gênero *Pratylenchus* pode variar de três a quatro semanas em média, considerando uma temperatura de 28 a 30°C, o que significa que o fitonematoide pode completar várias gerações ao longo de um mesmo ciclo cultural dependendo dos fatores ambientais. No entanto, este período pode ser retardado de acordo com as condições de temperatura e umidade do ambiente.

O ciclo é compreendido pelo ovo onde ocorrem multiplicações celulares, desenvolvimento embrionário e a formação dos estádios juvenis que compreende de J1 – J4. A primeira ecdise ocorre dentro do ovo (J1) e as outras fora dele (J2-J4). Assim que o juvenil de segundo estágio eclode do ovo, o processo de infecção se inicia pela migração ao sistema radicular do hospedeiro e o processo se repete passando de J3 a J4 sem interromper a sua alimentação e provocando severos danos as raízes (FERRAZ, 2006).

O aumento populacional de *P. brachyurus* tem sido favorecido por um conjunto de práticas que vem sendo adotadas ao sistema de produção de soja, como: semeadura direta, ausência de rotação de culturas, caracterizada pela monocultura ou sucessão com outras espécies hospedeiras, incorporação de áreas de pastagens degradadas, compactação do solo, o

cultivo em solos com baixos teores de argila além da ocorrência simultânea de outros fitonematoides e de outros patógenos habitantes de solo, como *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* e *M. phaseolina*. (JUHÁSZ et al., 2013). Estes fungos patogênicos infectam as raízes a partir de danos já existentes nas raízes provocando o aumento da severidade de podridões ou até mesmo de murchas vasculares.

Visto a gama de fitopatógenos radiculares as quais a soja é suscetível e a demanda por maiores rendimentos de produção, torna-se cada vez mais necessário o entendimento do dano causado pela interação fungo-nematoide.

### 2.3 PODRIDÃO DO CARVÃO

Além dos nematoides, a cultura da soja pode ser acometida por doenças ocasionadas por diferentes espécies de fitopatógenos, como: podridão cinzenta do caule (*M. phaseolina*) tombamento de plântulas (*R. solani*; *Pythium* spp.), murcha de fusarium (*F. oxysporum* f. sp. *glycines*), murcha-de-esclerócio (*Sclerotium rolfsii*, podridão radicular vermelha (*F. solani*), mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), e podridão radicular seca (*Fusarium solani* f. sp. *sojae*). Geralmente estas são oriundas de solos onde o sistema agrícola adotado pode ocasionar um desequilíbrio do solo e/ou favorecer a ocorrência das doenças radiculares, uma vez que transforma os campos de cultivo em local de baixa diversidade ecológica, deixando esse ambiente mais propício a infecções por patógenos habitantes de solo (MICHEREFF et al., 2005).

A cultura da soja é suscetível à uma ampla gama de fungos fitopatogênicos que podem infectar o caule, os tecidos foliares e ocasionar doenças radiculares nos diferentes estádios fenológicos da cultura. Entre essas doenças, se destaca a podridão do carvão, doença radicular causada pelo fungo *M. phaseolina* (ALMEIDA et al., 2001).

*Macrophomina phaseolina* destaca-se por ser cosmopolita e por infectar uma ampla gama de hospedeiros, apresentando baixa especificidade e alta capacidade de sobrevivência no solo sob condições adversas. O processo de infecção ocorre quando as hifas do fungo em condições de estresse formam os microescleródios (estruturas de resistência), que são classificados como fonte primária de inóculo. Estes, quando na presença de exsudatos do sistema radicular e em condições favoráveis, germinam e infectam as raízes ocasionando a doença (KHAN, 2007; KAUR et al. 2012). Os microescleródios encontram-se à uma profundidade de 0-20 cm e são mais comumente encontrados em solos compactados e em

déficit hídrico. Estes e outros fatores dificultam o aprofundamento das raízes expondo-as cada vez mais à ação do patógeno (REYES-FRANCO et al., 2006).

Os sintomas da doença podem ocorrer desde a germinação, estágios iniciais até o final do ciclo, podendo reduzir a produtividade e a qualidade das sementes. Os microescleródios normalmente são encontrados sob a epiderme das raízes e no colo das plantas (ALMEIDA et al., 2001). O micélio penetra na epiderme da raiz e fica restrito aos espaços intercelulares do córtex das raízes primárias, e como resultado disso, as células ficam debilitadas podendo levar a morte das plantas infectadas (KHAN, 2007; KAUR et al. 2012).

A infecção durante a emergência causa lesões de coloração marrom escura, na região do colo, caracterizado pela produção de microescleródios. Durante o florescimento, hifas do fungo crescem intracelularmente através do xilema e formam microescleródios que bloqueiam os vasos e causam a ruptura das células do hospedeiro (GUPTA *et al.*, 2012; KAUR *et al.*, 2012). Após o dano, os tecidos vegetais entram em decomposição até a completa morte da planta e os microescleródios são novamente liberados no solo para o início de um novo ciclo da doença (MENGISTU *et al.*, 2011).

Normalmente o dano causado pela infecção radicular é detectado no final do ciclo da cultura e são facilmente confundidos com o processo de senescência das plantas.

## 2.4 INTERAÇÃO ENTRE FUNGOS DE SOLO E NEMATOIDES

O dano causado pela associação fungo-nematoide nas culturas é um fator importante para o desencadeamento de doenças por eles causados. No entanto, têm sido pouco estudado no que se refere a *P. brachyurus* e *M. phaseolina*. As interações entre nematoides fitófagos e fungos fitopatogênicos são variáveis entre as diferentes espécies de fungos e nematoides. Por exemplo, alguns nematoides fitopatogênicos podem induzir danos físicos (ferimentos) às plantas hospedeiras e facilitar o acesso de outros patógenos aos tecidos da planta. Outro ponto é o fato de que alguns nematoides induzem mudanças fisiológicas em seus hospedeiros, o que desencadeia a susceptibilidade deste à infecção por outros patógenos (ZHANG et al., 2020).

O primeiro relato de um complexo fungo-nematoide foi descrito por Atkinson, em 1892, onde ele relatou que a murcha de fusarium do algodão (causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*) era agravada na presença de nematoides do gênero *Meloidogyne* spp. Posteriormente, novos casos de interações sinérgicas entre nematoides e fungos foram

descritos, envolvendo nematoides de galha e cisto, e o aumentando da gravidade da doença causada por fungos do gênero *Fusarium* spp. (HAJJI-HEDFI *et al.*, 2018; HUA *et al.*, 2019).

Os nematoides parasitas de plantas, de maneira geral, atuam como patógenos primários, uma vez que possuem capacidade inerente, independente e específica de causar uma doença. Os fungos fitopatogênicos, por sua vez, podem se enquadrar como agentes que podem ou não apresentar a capacidade de desencadear doenças via infecção direta (KHAN & SHARMA, 2020). Um passo fundamental na infecção de plantas por *M. phaseolina* é o estabelecimento de hifas e microescleródios no tecido vegetal. As hifas entram em contato com as raízes e crescem em direção a elas, circundando e penetrando-as, enquanto os microescleródios também se formam no interior do tecido radicular (SCHROEDER *et al.*, 2019). Uma vez nas raízes, o fungo afeta o sistema vascular, interrompendo o transporte de água e nutrientes para as partes superiores das plantas (MARQUES *et al.*, 2021).

Devido à ampla distribuição desses organismos em ambientes naturais e campos agrícolas, suas interações têm impactos econômicos significativos. Portanto, é importante entender tais interações envolvendo fungos e parasitas em ecossistemas terrestres e agrícolas. Uma melhor compreensão do complexo fungo-nematoide poderia beneficiar o desenvolvimento de ferramentas de manejo para controlar importantes patógenos de plantas e pragas de culturas (WHEELER *et al.*, 2019).

### **3 OBJETIVOS**

Dois experimentos foram desenvolvidos em casa de vegetação com o objetivo de avaliar a interação entre *Pratylenchus brachyurus* e *Macrophomina phaseolina* na cultura da soja. Os objetivos específicos do trabalho foram: (i) Verificar o efeito isolado e da interação entre *P. brachyurus* e *M. phaseolina* na severidade das lesões em raízes e na população de nematoides; e (ii) Analisar o desenvolvimento de plantas, componentes de rendimento e análises fisiológicas para determinar o dano reflexo ocasionado pela interação fungo-nematoide.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL

Foram desenvolvidos dois experimentos em condições de casa de vegetação. O experimento I foi desenvolvido no período de 03 de março a 12 de maio de 2021 em casa de vegetação com estrutura metálica de cobertura do tipo arco contendo camada de filme plástico de polietileno de alta densidade, aditivado contra raios ultravioletas e retenção de 40% de luminosidade. Nesta condição, havia sistema de climatização por resfriamento evaporativo do ar. O termostato foi ajustado para acionar o sistema de resfriamento evaporativo quando a temperatura do ar interno fosse igual ou superior a 29 °C.

O experimento II foi desenvolvido no período de 06 de outubro de 2021 a 18 de janeiro de 2022 em casa de vegetação telada com estrutura metálica de cobertura do tipo arco contendo camada de sombrite de cor preta com 87% de transmissão de luminosidade (Figura 1).



**Figura 1. A e B:** casas de vegetação do Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos onde os experimentos foram conduzidos.

### 4.2 PREPARO DO INÓCULO E INOCULAÇÃO DE *Macrophomina phaseolina*

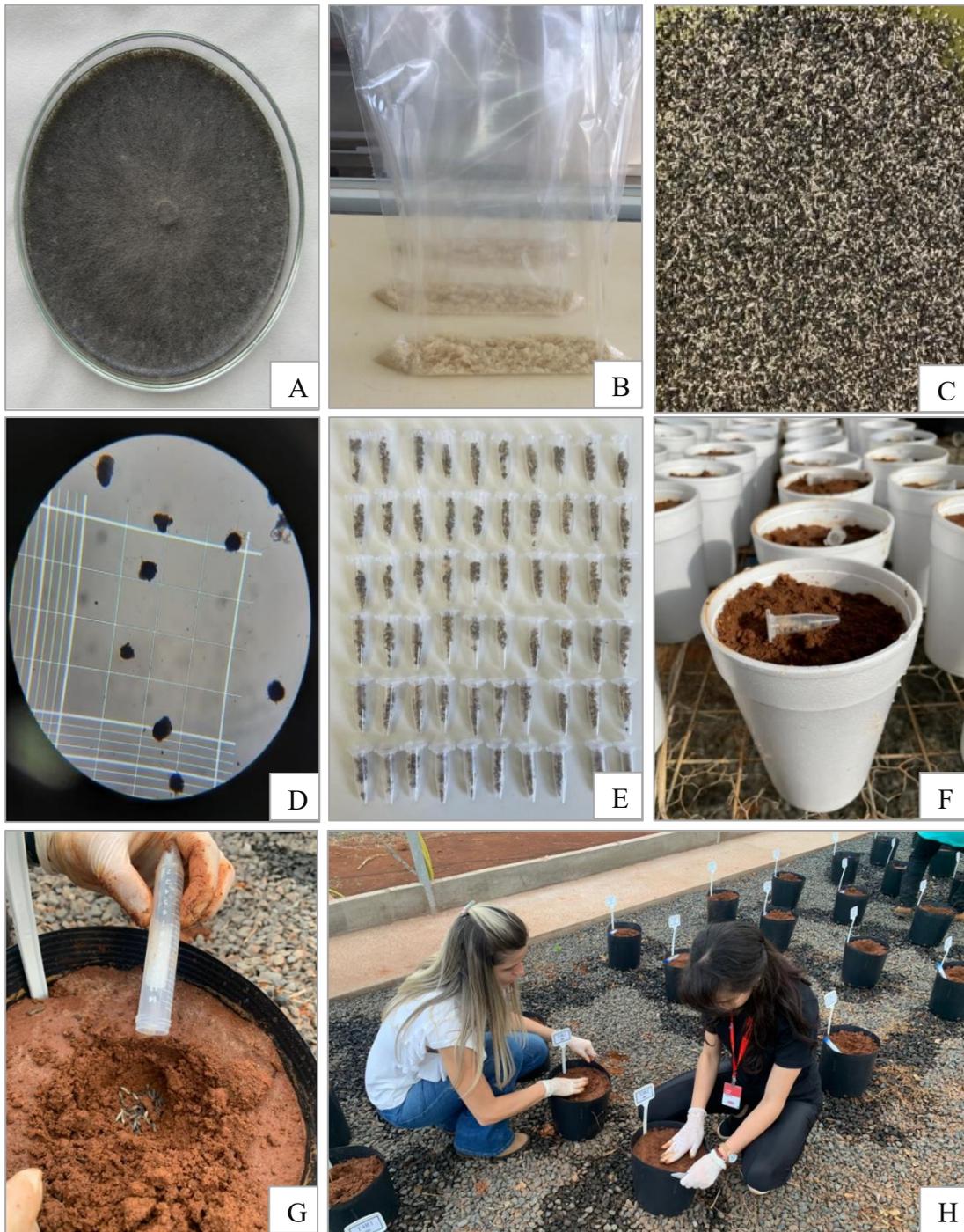
O isolado de *M. phaseolina* (MAC P82 T9 C.M.) foi obtido da coleção de fungos da EMBRAPA – Arroz e Feijão, tendo sido isolado de soja. O referido isolado foi cultivado em placas de Petri (100 x 15 mm) contendo meio de cultura batata-dextrose-ágar (BDA) e mantido em câmara de incubação B.O.D. (*Biological Oxygen Demand*) por um período de 10

dias, a 28°C, sob fotoperíodo de 12 horas para a multiplicação do fungo.

Após o crescimento do patógeno em placas de Petri, iniciou-se a infestação em substrato sólido. Para isso, foram utilizados sacos de polipropileno contendo arroz sem casca polido, previamente umedecidos com água (100 mL de água/ 200 g de arroz) por dez minutos. Posteriormente, o arroz foi esterilizado em autoclave por vinte minutos a 120 °C. Após o resfriamento do arroz, foram adicionados 20 discos de micélio de 3 mm de diâmetro de culturas puras do patógeno. Os sacos foram mantidos em câmara de crescimento a 25 °C, e agitados diariamente até a completa colonização dos grãos de arroz.

Após a completa colonização do substrato sólido, estes foram secos por 12 horas em câmara de fluxo laminar e posteriormente armazenados em sacos de papel sob temperatura ambiente a 25 °C, até o momento da sua utilização.

Para infestação do solo, utilizou-se 15g de arroz colonizado por *M. phaseolina* por vaso. A concentração de microescleródios foi determinada por meio da lavagem do arroz colonizado em peneira de 200 mesh sobreposta sobre peneira de 400 mesh. Em seguida, foi feita a contagem dos microescleródios em cada peneira para determinar a contagem de suspensão em câmara de Neubauer. Em 15g de arroz colonizados foi obtida uma média de  $1 \times 10^6$  microescleródios/planta. Para infestação do solo com *M. phaseolina*, os grãos colonizados foram espalhados na camada superficial do solo à cinco centímetros de profundidade em ambos os experimentos, e colocados à 10 cm de diâmetro do ponto de semeadura (CRUCIOL, 2018) (Figura 2).



**Figura 2.** Preparo do inóculo e inoculação do fungo *Macrophomina phaseolina*. A: cultivo de *Macrophomina phaseolina* em placas de Petri (100 x 15 mm); B: sacos de polipropileno contendo arroz para esterilização e posterior inoculação de discos de micélio do patógeno; C: completa colonização do substrato sólido (arroz); D: contagem dos microescleródios em câmara de Neubauer; E: microtubos Eppendorf contendo 15g de arroz colonizados por *Macrophomina phaseolina*; F, G e H: inoculação na camada superficial do solo à cinco centímetros de profundidade.

#### 4.3 PREPARO DE INÓCULO E INOCULAÇÃO DE *Pratylenchus brachyurus*

O inóculo de *P. brachyurus* foi proveniente do Laboratório de Manejo Integrado de Nematóides do IF Goiano Campus Urutaí, sendo parte de uma coleção pura mantida e multiplicada em condições de casa de vegetação (GONZAGA, 2006).

A extração de juvenis e adultos foi conduzida conforme a metodologia descrita por Coolen e D'Herde (1972). Este método consiste em submeter o sistema radicular sob água corrente, deixar secar em papel toalha e fragmentar as raízes em pedaços de 1-2 cm. A massa radicular foi triturada com auxílio de liquidificador por aproximadamente 30 segundos com adição de água. A solução obtida foi transferida para um conjunto de peneiras 200 sobre 400 mesh. O material retido na peneira de 400 mesh foi submetido a centrifugação por 5 minutos. Após a primeira centrifugação, descartou-se o sobrenadante e adicionou uma solução de sacarose. Novamente, ocorreu uma centrifugação por 1 minuto. Após a segunda centrifugação, o sobrenadante foi transferido para a peneira de 400 mesh e a solução presente na peneira foi “lavada” com auxílio de uma pisseta para que não ocorra resíduos de sacarose. Em seguida, a solução foi transferida para um tubo Falcon para leitura em microscópio ótico. Com auxílio de uma câmara de Petters realizou-se a leitura e quantificação dos nematoides presentes na amostra. A solução foi calibrada e cada vaso inoculado com 1mL da suspensão, contendo 1000 juvenis de *P. brachyurus* (Figura 3).



**Figura 3.** Metodologia utilizada para a extração de *Pratylenchus brachyurus*. A: fragmentação das raízes em pedaços de 1-2 cm; B e C: trituração da massa radicular com auxílio de liquidificador com adição de água; D: transferência da solução para um conjunto de peneiras de 200 sobre 400 mesh; E: centrifugação da amostra. F e G: recuperação da solução com os nematoides; H: contagem e calibração dos nematoides; I: inoculação de 1000 juvenis de *Pratylenchus brachyurus* por vaso.

#### 4.4 DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Após a semeadura foram aplicados os tratamentos: : i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. solo infestado com inóculo de *M. phaseolina* na ocasião da semeadura; iii. solo infestado com *M. phaseolina* na ocasião da semeadura e com *P. brachyurus* sete dias após a semeadura; iv. solo infestado com *P. brachyurus* sete dias após a semeadura e v. solo infestado com *P. brachyurus* sete dias após a semeadura e *M. phaseolina* 14 dias após a semeadura.

O fornecimento de água foi feito de forma manual e ajustado para reposição de 75% da evapotranspiração. Para determinar a evapotranspiração, utilizou-se o método de lisímetro. Para tal, inicialmente determinou-se a capacidade de campo. Foram utilizados dois vasos contendo a mistura solo:areia, estes foram pesados e posteriormente saturados com água, com imersão do fundo do vaso em bandeja contendo água. Os vasos ficaram em repouso por 24h para que ocorresse a saturação completa. Uma vedação plástica na parte superior do vaso foi utilizada para evitar perda de água por evapotranspiração. Após a saturação, os vasos foram mantidos sob suporte para eliminação do excesso de água por escoamento por 24h. Decorrido este período, os dois vasos foram pesados, obtendo-se o peso a 100% da capacidade de campo. Estes serviram para determinar a evapotranspiração da cultura.

#### 4.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram instalados com o delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC). O experimento I foi composto por cinco tratamentos e dez repetições. A unidade experimental foi composta por um vaso de isopor com capacidade para 900 mL, contendo a mistura solo:areia autoclavados na proporção de 1:1. O experimento II foi composto por cinco tratamentos e quinze repetições. A unidade experimental foi composta por um vaso com capacidade para 8L, contendo a mistura solo de barranco:areia na proporção de 1:1 e o mesmo não foi autoclavado. Foram semeadas, em cada vaso, uma semente de soja variedade Brasmax Desafio com profundidade de plantio de 2 cm. Os dados foram submetidos ao teste de Grubbs para verificar a presença de outliers, em caso de outliers os mesmos foram retirados. Em seguida, os princípios de normalidade (Shapiro wilk),

homogeneidade (bartlett) e independência de resíduos (Durbin whatson) foram verificados. Posteriormente foi utilizado a análise de variância (ANOVA) para verificar se havia diferença estatística entre os tratamentos. Em caso de diferença foi utilizado o teste de Tukey para comparar os tratamentos entre si. O software estatístico Minitab foi utilizado para realizar todas as análises e o nível de significância adotado foi o de 5%.

#### 4.6 AVALIAÇÕES DA SEVERIDADE DA DOENÇA

No experimento I, a avaliação da severidade das lesões no sistema radicular foi realizada aos 70 DAS e no experimento II a avaliação foi realizada aos 105 dias compreendendo os estádios de maturação fisiológica R7-R8. A severidade foi determinada a partir da metodologia descrita por Soares e Meyer (2019), onde a raiz foi lavada e avaliada quanto a porcentagem de área escurecida e o volume, com auxílio de uma escala de notas (Figura 4), onde: 0 (raiz normal), 1 (raiz levemente escurecida), 2 (até 25% de escurecimento e redução de volume), 3 (até 50% de escurecimento e redução de volume), 4 (até 75% de escurecimento e redução de volume) e 5 (raiz com mais de 75% de escurecimento e redução de volume).

Reação	Escala de Avaliação
	0 Raízes volumosas, saudáveis, bem desenvolvidas
0-1,0: R	1 Raízes volumosas, levemente escuras, bem desenvolvidas
1,1-2,0: MR	2 Raízes com até 25% de escurecimento e redução de volume
2,1-3,0: MS	3 Raízes com até 50% de escurecimento e redução de volume
3,1-4,0: S	4 Raízes com até 75% de escurecimento e redução de volume
4,1 – 5,0: AS	5 Raízes com mais de 75% de escurecimento e redução de volume



**Figura 4.** Escala de severidade descrita por Soares e Meyer (2019).

#### 4.7 AVALIAÇÕES DE NEMATOIDES

Para o experimento I, o número de nematoides foi quantificado apenas no solo, uma vez que as raízes foram utilizadas para a análise da determinação de matéria seca visando obter mais informações sobre o dano causado pelos fitopatógenos. No experimento II, 10 repetições foram utilizadas para determinar o número de nematoides nas raízes e 5 repetições foram utilizadas para avaliar a fitomassa seca das raízes.

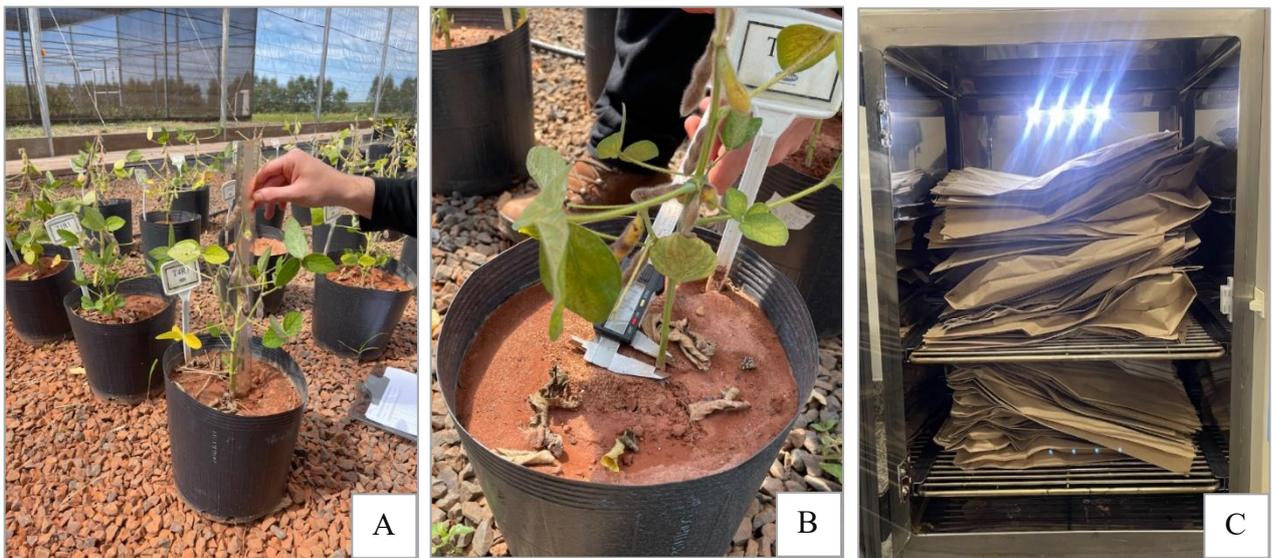
Para o experimento I, onde foi feita a determinação do número de nematoides no solo, cada repetição foi processada em centrifuga e foi determinada em uma alíquota de 150cm<sup>3</sup> de solo em 2L de água (JENKINS *et al.*, 1964). Posteriormente, a mistura solo e água foi homogeneizada e utilizou-se peneiras sobrepostas de 200 e 500 mesh para recolhimento da suspensão. As amostras foram levadas para a centrifuga à uma velocidade de 1750rpm onde o sobrenadante foi descartado após 5 minutos. Ao resíduo adicionou-se solução de sacarose (454g de açúcar cristal/ 1 L de água). Rotacionando-se por 1 minuto. Após, o sobrenadante foi vertido na peneira de 500 mesh para recolhimento da suspensão com os nematoides. Uma alíquota obtida foi colocada na câmara de contagem de Peters e levada ao microscópio óptico para a determinação da população de *P. brachyurus* no solo.

Para o experimento II, a extração de juvenis e adultos foi conduzida conforme a metodologia descrita por Boneti e Ferraz (1981). Este método consiste em submeter o sistema radicular sob água corrente, deixar secar em papel toalha e fragmentar as raízes em pedaços de 1-2 cm. A massa radicular foi triturada com auxílio de liquidificador por aproximadamente 30 segundos juntamente com água. A solução obtida foi transferida para um conjunto de peneiras 200 sobre 400 mesh. Em seguida, a solução foi transferida para um tubo Falcon para leitura em microscópio ótico. Com auxílio de uma câmara de Petters realizou-se a leitura e quantificação dos nematoides presentes na amostra.

#### 4.8 DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS E TROCAS GASOSAS

Para os experimentos I e II, as avaliações foram realizadas aos 70 DAS e 105 DAS respectivamente, as quais compreendem variáveis relacionadas ao desenvolvimento de plantas: comprimento da parte aérea (CPA), diâmetro do caule (DC) e fitomassa seca de raiz. Além disso, para o experimento II, a análise de fitomassa fresca de raiz foi conduzida.

Para o comprimento de parte aérea, as medidas foram realizadas com régua milimetrada e os resultados médios foram expressos em centímetros (cm). Para o diâmetro do caule, a avaliação foi determinada com o uso de um paquímetro e os resultados médios foram expressos em milímetros (mm). Para a avaliação de fitomassa fresca e seca de raiz, as raízes foram inicialmente pesadas e posteriormente secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas até atingir peso constante e, em seguida, foram pesadas em balança analítica de precisão, com capacidade máxima para 3 kg. Para a variável fitomassa fresca e seca de raiz, do experimento analisado aos 105 DAS, foram avaliadas 5 repetições do total (Figura 6).



**Figura 6:** A, B e C: avaliações de comprimento da parte aérea, diâmetro do caule e fitomassa seca de raiz.

No experimento II foram avaliados os componentes de rendimento: número de vagens/planta, número de grãos/vagem e peso seco dos grãos/planta. Para número de vagens/planta e número de grãos/vagem, as avaliações foram feitas manualmente. O peso seco dos grãos foi determinado com auxílio de uma balança analítica de precisão com capacidade máxima para 3 kg.

As trocas gasosas foram avaliadas para o experimento I aos 48 e 70 DAS por meio de equipamento com sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO<sub>2</sub> e vapor d'água por radiação infravermelha (“Infra Red Gas Analyser – IRGA”, Licor Li6800). Para as avaliações, o folíolo central tomando-se por base o terço médio das plantas com folhas totalmente expandidas a partir da base da planta foi utilizado. As medições foram aferidas em condições de céu claro, sem nebulosidade, das 8 às 10 horas da manhã. Foram determinadas as seguintes

variáveis: transpiração (E), fotossíntese (A), razão da concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> (Ci/Ca) na folha para verificar o efeito do dano reflexo causado pela interação fungo-nematoide e condutância estomática (GSW) (GAL et al., 2019). Para o experimento II, não foi possível realizar as avaliações de trocas gasosas como na primeira época de semeadura devido as condições ambientais de nebulosidade com alternância entre sol e a presença de muitas nuvens durante toda a condução do experimento.

## 5 RESULTADOS

### 5.1. EXPERIMENTO I

Em relação à severidade, observou-se diferença estatística significativa entre os tratamentos ( $P = 0,029$ ). Os maiores índices de severidade foram observados para os tratamentos inoculados com *M. phaseolina* (MP) inoculada sozinha ou em associação com *P.brachyurus* (PB). Não houve diferença estatística para os tratamentos de interação (Tabela 2).

**Tabela 2.** Severidade média das lesões radiculares na soja  $\pm$  desvio padrão submetida a diferentes tratamentos.

Tratamentos	Severidade (0 - 5)
Controle	0,00 $\pm$ 0,00 a
MP	2,30 $\pm$ 0,06 c
MP + PB	2,20 $\pm$ 0,06 c
PB	1,50 $\pm$ 0,07 b
PB + MP	2,20 $\pm$ 0,11 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS); iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).

Para o número de *P. brachyurus* no solo, houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ( $P < 0,001$ ). Foi observado maior número de nematoides no solo para o tratamento inoculado apenas com *P. brachyurus* (PB). Não houve diferença estatística para os

tratamentos de interação (Tabela 3).

**Tabela 3.** Número médio de nematoides em 150cm<sup>3</sup> de solo  $\pm$  desvio submetido a diferentes tratamentos.

Tratamentos	Número de nematoides no solo (150cm <sup>3</sup> )
Controle	0,00 $\pm$ 0,00 a
MP	0,00 $\pm$ 0,00 a
MP + PB	7,00 $\pm$ 0,15 b
PB	10,37 $\pm$ 0,27 c
PB + MP	5,55 $\pm$ 0,30 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS); iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).

Não houve diferença estatística significativa para as variáveis de desenvolvimento de plantas: (CPA), no qual, ( $P = 0,739$ ), (DC), no qual, ( $P = 0,706$ ) e fitomassa seca de raiz, no qual, ( $P = 0,348$ ) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Número médio de (CPA), (DC) e (FSR)  $\pm$  desvio submetido a diferentes tratamentos.

Tratamentos	CPA (cm)	DC (mm)	FSR (g)
Controle	19,00 $\pm$ 0,41 ns	0,10 $\pm$ 0,00 ns	0,33 $\pm$ 0,01 ns
MP	18,75 $\pm$ 0,51	0,10 $\pm$ 0,00	0,37 $\pm$ 0,01
MP + PB	18,25 $\pm$ 0,47	0,10 $\pm$ 0,00	0,41 $\pm$ 0,02
PB	18,30 $\pm$ 0,44	0,10 $\pm$ 0,00	0,39 $\pm$ 0,03
PB + MP	18,45 $\pm$ 0,38	0,10 $\pm$ 0,00	0,40 $\pm$ 0,03

CPA = Comprimento de parte aérea ; DC = Diâmetro de caule e FSR = fitomassa seca de raiz. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS); iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).

Não houve diferença estatística significativa para as análises com o equipamento IRGA:

transpiração (E), no qual, ( $P = 0,706$ ), fotossíntese (A), no qual, ( $P = 0,087$ ), razão da concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  (Ca/Ci) na folha, no qual, ( $P = 0,285$ ) e condutância estomática (GSW), no qual, ( $P = 0,956$ ) aos (48 DAS) (Tabela 5).

**Tabela 5.** Número médio de (E), (Ca/Ci) e (GSW)  $\pm$  desvio submetido a diferentes tratamentos.

Tratamentos	E		Ca/Ci		GSW	
Controle	0,00 $\pm$ 0,00	ns	1,23 $\pm$ 0,04	ns	0,48 $\pm$ 0,04	ns
MP	0,00 $\pm$ 0,00		1,24 $\pm$ 0,02		0,48 $\pm$ 0,06	
MP + PB	0,00 $\pm$ 0,00		1,27 $\pm$ 0,03		0,41 $\pm$ 0,12	
PB	0,00 $\pm$ 0,00		1,17 $\pm$ 0,00		0,50 $\pm$ 0,10	
PB + MP	0,00 $\pm$ 0,00		1,22 $\pm$ 0,02		0,51 $\pm$ 0,08	

E = Transpiração; Ca/Ci = Razão da concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  e GSW = Condutância estomática. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS); iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).

No entanto, aos (70 DAS), foi possível observar diferença estatística significativa apenas para fotossíntese (A), ( $P < 0,005$ ), onde os maiores resultados foram observados no tratamento controle, o que pode ser justificado pela ausência do dano causado pelos fitopatógenos de solo inoculados de forma isolada ou em associação para os demais tratamentos (Tabela 6).

**Tabela 6.** Valores médios para Fotossíntese (A) avaliada aos 70 DAS  $\pm$  submetido a diferentes tratamentos.

Tratamentos	Fotossíntese (A)	
Controle	17,95 $\pm$ 0,46	a
MP	3,31 $\pm$ 0,01	b
MP + PB	6,18 $\pm$ 0,40	b
PB	7,06 $\pm$ 0,24	b
PB + MP	6,18 $\pm$ 0,40	b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS); iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).

Não houve diferença estatística significativa aos (70 DAS) para transpiração (E), no qual, ( $P = 0,777$ ), razão da concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $\text{Ci}/\text{Ca}$ ) na folha, no qual, ( $P = 0,731$ ) e condutância estomática (GSW), no qual, ( $P = 0,752$ ) (Tabela 7).

**Tabela 7.** Número médio de (E), ( $\text{Ca}/\text{Ci}$ ) e (GSW)  $\pm$  desvio submetido a diferentes tratamentos.

Tratamentos	E		Ca/Ci		GSW	
Controle	0,00 $\pm$ 0,00	ns	1,19 $\pm$ 0,00	ns	0,37 $\pm$ 0,01	Ns
MP	0,00 $\pm$ 0,00		1,11 $\pm$ 0,00		0,27 $\pm$ 0,01	
MP + PB	0,00 $\pm$ 0,00		1,23 $\pm$ 0,00		0,41 $\pm$ 0,03	
PB	0,00 $\pm$ 0,00		1,14 $\pm$ 0,00		0,25 $\pm$ 0,01	
PB + MP	0,00 $\pm$ 0,00		1,17 $\pm$ 0,00		0,31 $\pm$ 0,00	

E = Transpiração;  $\text{Ca}/\text{Ci}$  = Razão da concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  e GSW = Condutância estomática. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS); iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).

## 5.2. EXPERIMENTO II

Para a avaliação da severidade da doença, foi observado diferença estatística significativa entre os tratamentos ( $P < 0,001$ ) (Tabela 8). Considerando a interação, houve maior severidade quando a inoculação foi predisposta por *P. brachyurus* (Figura 7).

**Tabela 8.** Severidade média das lesões radiculares na soja  $\pm$  desvio padrão submetida a diferentes tratamentos.

Tratamentos	Severidade (0 - 5)
Controle	0,13 $\pm$ 0,09 a
MP	1,26 $\pm$ 0,15 bc
MP + PB	0,86 $\pm$ 0,06 b
PB	1,20 $\pm$ 0,16 bc
PB + MP	1,46 $\pm$ 0,18 c

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS); iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).



**Figura 7:** Sintomas de podridão radicular em soja submetida a diferentes tratamentos.

Houve diferença estatística significativa entre os tratamentos ( $P < 0,001$ ) para o número de nematoides na raiz. Foi observado maior número de nematoides para os tratamentos inoculados com PB, no entanto, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos de interação (Tabela 9).

**Tabela 9.** Número médio de nematoides na raiz  $\pm$  desvio submetido a diferentes tratamentos.

Tratamentos	Número de nematoides na raiz (g)
Controle	34,72 $\pm$ 7,30 a
MP	32,35 $\pm$ 9,97 a
MP + PB	147,28 $\pm$ 20,40 b
PB	120,96 $\pm$ 15,94 b
PB + MP	106,96 $\pm$ 15,45 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS); iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).

Não houve diferença estatística significativa para as variáveis de desenvolvimento de plantas: fitomassa fresca (FFR), no qual, ( $P = 0,273$ ) e seca de raiz (FSR), no qual, ( $P = 0,113$ ) (Tabela 10). Além disso, os dados de componentes de rendimento: número de vagens/planta, no qual, ( $P = 0,216$ ), número de grãos/vagem no qual, ( $P = 0,093$ ) e peso seco dos grãos/planta no qual, ( $P = 0,351$ ) não foram significativos (Tabela 11).

**Tabela 10.** Número médio de (FFR) e (FSR)  $\pm$  desvio submetido a diferentes tratamentos.

Tratamentos	FFR	FSR
Controle	18,17 $\pm$ 4,49 ns	4,82 $\pm$ 0,92 ns
MP	13,94 $\pm$ 3,74	4,07 $\pm$ 0,84
MP + PB	11,14 $\pm$ 0,91	3,29 $\pm$ 0,30
PB	19,55 $\pm$ 6,00	5,61 $\pm$ 1,09
PB + MP	16,42 $\pm$ 5,43	3,36 $\pm$ 0,76

FFR = fitomassa fresca de raiz e FSR = fitomassa seca de raiz. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas

sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS); iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).

**Tabela 11.** Número médio de (NV/P); (NG/V) e (PSG/P)  $\pm$  desvio submetido a diferentes tratamentos.

Tratamentos	NV/P		NG/V		PSG/P	
Controle	12,32 $\pm$ 1,00	ns	2,06 $\pm$ 0,00	ns	5,70 $\pm$ 0,58	Ns
MP	12,06 $\pm$ 0,67		1,91 $\pm$ 0,04		5,17 $\pm$ 0,32	
MP + PB	11,73 $\pm$ 0,67		1,92 $\pm$ 0,06		4,45 $\pm$ 0,64	
PB	12,28 $\pm$ 0,85		2,01 $\pm$ 0,06		4,65 $\pm$ 0,83	
PB + MP	9,93 $\pm$ 0,49		1,65 $\pm$ 0,07		4,55 $\pm$ 0,44	

NV/P = número de vagens/planta; NG/V = número de grãos/vagem e PSG/P = peso seco dos grãos/planta. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS); iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).

No entanto, foi possível observar diferença estatística significativa para CPA ( $P < 0,004$ ), e para DC ( $P < 0,004$ ), onde foi observado menor desenvolvimento das plantas quando a inoculação foi predisposta por *P. brachyurus* (Tabela 12).

**Tabela 12.** Valores médios de desenvolvimento de plantas  $\pm$  desvio submetido a diferentes tratamentos.

Tratamentos	CPA (cm)		DC (mm)	
Controle	31,03 $\pm$ 2,25	a	7,41 $\pm$ 0,63	a
MP	28,70 $\pm$ 0,75	a	7,99 $\pm$ 0,36	a
MP + PB	28,89 $\pm$ 2,08	a	7,43 $\pm$ 0,66	a
PB	28,35 $\pm$ 1,98	a	7,19 $\pm$ 0,59	a
PB + MP	22,33 $\pm$ 3,05	b	5,41 $\pm$ 0,75	b

CPA = comprimento de parte aérea e DC = diâmetro de caule. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Tratamentos: i. plantas sem infestação do solo (controle); ii. MP na semeadura; iii. MP na semeadura e PB (7 DAS);

iv. PB (7 DAS) e v. PB (7 DAS) e MP (14 DAS).

## 6 DISCUSSÃO

No presente estudo foi demonstrado o impacto do complexo de doenças radiculares desencadeadas pelos agentes etiológicos *P. brachyurus* e *M. phaseolina* sobre o desenvolvimento de plantas de soja. Estes complexos entre fungos e nematoides podem resultar no desbalanço de diferentes fatores associados ao pleno desenvolvimento da planta, o que conseqüentemente contribui para a diminuição do rendimento das culturas infectadas (WOLFGANG et al., 2019).

De acordo com os resultados obtidos no experimento I, para as variáveis severidade e fotossíntese (A), foi possível observar que não houve diferença entre os tratamentos (iii) e (v), contendo os dois fitopatógenos em estudo, mesmo considerando formas de inoculação diferentes. Estes resultados diferem do que foi observado no experimento II, uma vez que, para as variáveis: severidade, comprimento de parte aérea e diâmetro do caule, foi possível observar um aumento na severidade e conseqüentemente uma redução do crescimento e desenvolvimento das plantas quando o nematoide precedeu a inoculação de *M. phaseolina*. A diferença de resultados entre os dois experimentos conduzidos pode estar relacionada ao tamanho do vaso utilizado no experimento II, o qual proporcionou um melhor desenvolvimento para as plantas associado ao maior tempo de condução do experimento e a condições de temperaturas mais altas favoráveis para a multiplicação dos fitopatógenos. Como conseqüência, pode ter ocorrido uma estabilização dos fitopatógenos no solo associado ao efeito aditivo dos microrganismos patogênicos já existentes, demonstrando posteriormente um efeito sinérgico e confirmando a hipótese de que o nematoide abre portas para a infecção fúngica e pode acarretar a potencialização do dano.

Dianese (2010) demonstrou que a presença do nematoide do cisto da soja (*Heterodera glycines*) é um fator que contribuiu para o aumento da severidade da podridão vermelha da raiz em soja causado pelo *Fusarium solani* f. sp. *glycines*. Al-Hazmi (1985), estudando a interação entre *M. phaseolina* e *Meloidogyne incognita*, verificou que a severidade da podridão da raiz foi mais pronunciada quando o nematoide precedeu da inoculação fúngica. Isso pode ser justificado pelo desbalanço fisiológico da planta ocasionado pela infecção inicial do nematoide, assim, a planta ficou mais debilitada para conseguir responder ao ataque contra a *M. phaseolina*. Estes resultados corroboram com os obtidos no experimento II, onde foi observada uma maior

nota de severidade para o tratamento (v) *P. brachyurus*, visto que a lesão primária desencadeada por nematoides viabilizam infecções secundárias por fungos e, conseqüentemente, podem aumentar a gravidade de danos radiculares (BACK et al., 2010; BJÖRSELL et al., 2017; ORLANDO et al., 2020). Entretanto, para o experimento I, não foi possível observar um aumento da severidade da doença quando o nematoide precedeu ou não a inoculação de *M. phaseolina* discordando dos resultados acima. No entanto, como mencionado anteriormente, fatores abióticos devem ser considerados uma vez que os fitopatógenos em estudo são mais adaptados às condições de altas temperaturas o que pode justificar a diferença dos resultados obtidos nos experimentos I e II considerando as épocas diferentes de condução.

Em contrapartida, o efeito sinérgico nem sempre é observado na associação fungo-nematoide, como foi visto para as avaliações do número de nematoides no solo e na raiz, para ambos os experimentos avaliados. Visto que, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos (iii) e (v), contendo os dois fitopatógenos em estudo, mesmo considerando formas diferentes de inoculação e épocas diferentes de condução dos experimentos.

Estudos prévios mostram que a população de nematoides das lesões radiculares (*P. brachyurus*) na cultura do trigo, geralmente aumenta em combinação com fungos de podridão de raízes (MOUNTAIN & MCKEEN 1962; VRAIN 1987; HASAN 1988). No entanto, os resultados obtidos no experimento I, confrontam essa hipótese e estão de acordo com o estudo de Al-Hazmi (1985), no qual, foi observado em plantas de sorgo inoculadas com *M. phaseolina* e *M. incognita* uma redução da população do nematoide quando comparado ao tratamento onde apenas o *M. incognita* foi inoculado. Possivelmente ocorreu uma competição direta por espaço e nutrientes entre os dois patógenos, uma vez que, o fungo leva ao apodrecimento das raízes, diminuindo o sistema radicular e a capacidade do nematoide se alimentar e multiplicar. Embora os resultados obtidos não demonstrem a ocorrência de danos maiores quando na interação fungo-nematoide, o dano ocasionado pelos nematoides pode aumentar a severidade da doença. Assim, mesmo que a densidade de inóculo de fungos não seja alta, os nematoides podem facilitar os danos no sistema radicular das plantas e reduzir ainda mais a produtividade (LOBO JÚNIOR, 2003).

Além disso, no presente estudo, os parâmetros de trocas gasosas como a fotossíntese foram reduzidos na presença dos fitopatógenos e estão de acordo com os estudos de Lorenzini et al., (1997); Saeed (1999) e Strajnar et al., (2012), onde o mesmo ocorreu em plantas de grão de bico que foram inoculadas com *M. incognita* + *M. phaseolina*. Ainda que a redução da

fotossíntese em plantas infectadas por nematoides ou pela associação de fitopatógenos habitantes de solo tenha sido pouco estudada, este fato pode ser justificado pela infecção grave das raízes resultando em uma má absorção de água e translocação de nutrientes prejudicada. Tais eventos traduzem-se em várias respostas nas plantas, muitas das quais de caráter fisiológico, resultando normalmente em amarelecimento foliar e redução do porte das plantas. Uma das teorias para a redução de processos fisiológicos em plantas é também que os fitopatógenos de solo interferem na síntese e translocação de expressões de crescimento das raízes (BIRD, 1974).

Ainda, Ghazalbash e Abdollahi (2012) relataram uma diminuição nos parâmetros de trocas gasosas em tomateiros que foram infectados simultaneamente com *Meloidogyne javanica* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Os autores presumiram que o fechamento estomático reduziu a concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, o que pode ser a causa por trás da fotossíntese líquida reduzida. É possível que parte das alterações que foram observadas neste estudo esteja relacionada a redução da atividade da enzima Rubisco. Portanto, se há redução da atividade fotossintética, a qual está relacionada ao crescimento da planta, associada ao aumento da respiração da planta e que efetivamente é a única perda de massa, irá ocorrer também redução no crescimento da planta (GAYLER et al., 2004), como foi observado para as variáveis de desenvolvimento de plantas neste estudo.

No experimento II, verificou-se que o comprimento de parte aérea (CPA) e o diâmetro de caule (DC) foram menores quando as plantas foram expostas a presença dos dois patógenos considerando a infecção antecedente de *P. brachyurus* e subsequente de *M. phaseolina*, tratamento (v). Todavia, entre os demais tratamentos não foi possível observar diferenças estatísticas significativas. Os resultados encontrados corroboram com os encontrados por Powell (1971), no qual, menciona que as infecções radiculares iniciadas por *Pratylenchus negligus* podem predispor à infecção fúngica e aumentar a gravidade da doença. Estes resultados colaboram com os resultados obtidos no experimento I, em que uma menor eficiência na absorção de água e nutrientes pode acarretar na redução da fotossíntese e conseqüentemente na diminuição no crescimento das plantas. As plantas podem apresentar sintomas de deficiência nutricional e ter seu metabolismo alterado, priorizando a produção de proteínas nas raízes em detrimento da absorção de nutrientes para a parte aérea, com isso, a planta não desenvolve bem a parte aérea, tendo seu crescimento e produção reduzidos (TAYLOR & SASSER 1983). Isto explica a redução no desenvolvimento de plantas (comprimento de parte aérea e diâmetro de

caule) ocorridos neste trabalho. Esta interpretação é válida principalmente para o experimento II, conduzido durante os meses de outubro a janeiro, no qual possivelmente, há maior tempo para reprodução de nematoides, uma vez que a população se eleva pelas temperaturas mais altas (DINARDO-MIRANDA et al., 2007).

## 7 CONCLUSÃO

Em uma análise geral, concluiu-se que o dano causado pela interação entre *P. brachyurus* e *M. phaseolina*:

- (i) Provoca o aumento da severidade quando predisposta por *P. brachyurus* e em condições de temperaturas mais altas;
- (ii) Não corrobora para o aumento populacional de nematoides no solo e na raiz;
- (iii) Não interfere na fotossíntese (A) avaliada aos 70 (DAS), uma vez que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos inoculados com fitopatógenos habitantes de solo;
- (iv) Acarreta decréscimo aos parâmetros de desenvolvimento das plantas quando a infecção ocorre inicialmente por *P. brachyurus*;
- (v) Para algumas das variáveis analisadas, a interação predisposta por *P. brachyurus* apresentou um efeito sinérgico confirmando a hipótese de que o nematoide abre portas para a infecção fúngica e pode acarretar a potencialização do dano e a redução da produtividade.

## REFERÊNCIAS

AGROPECUÁRIA, E.-E. B. D. P. **Tecnologias de produção de soja-Região Central do Brasil-2014**: Embrapa Soja Londrina, 2013.

AL-HAZMI, A S. **Interaction of *Meloidogyne incognita* and *Macrophomina phaseolina* in a Root-Rot Disease Complex of French Bean**. Journal of Phytopathology, v. 113, n. 4, p. 311-316, 1985.

ALMEIDA, A. M. R.; *et al.* ***Macrophomina phaseolina* em soja: Sistema de semeadura, sobrevivência em restos cultura e diversidade genética**. Londrina: Embrapa Soja, p. 47, 2001.

ATKINSON, G. F. **Some diseases of cotton**. Agricultural Experiment Station of the Agricultural and Mechanical College, 1892.

BACK, M.A. *et al.* **Disease complexes involving plant parasitic nematodes and soilborne pathogens**. Plant pathology, v. 51, n. 6, p.683-697, 2002.

BACK, M. *et al.* **Modifications in the potato rhizosphere during infestations of *Globodera rostochiensis* and subsequent effects on the growth of *Rhizoctonia solani***. European journal of plant pathology, v. 128, n. 4, p. 459-471, 2010. Disponível em < <https://doi.org/10.1007/s10658-010-9673-2> >. Acesso em 29 de janeiro de 2022.

BIRD, A. F. **Plant response to root-knot nematode**. Annual Review of Phytopathology, 12, 69–85, 1974.

BJÖRSELL, P. *et al.* **Interactions between some plant-parasitic nematodes and *Rhizoctonia solani* in potato fields**. Applied Soil Ecology, v. 113, p. 151-154, 2017. Disponível em < <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.010> >. Acesso em 29 de janeiro de 2022.

BONETI, J.I.S.; FERRAZ, S. **Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro**. Fitopatologia Brasileira, v.6, p. 553, 1981.

BRASIL. Portaria Nº 5, de 21 de agosto de 2015. **Define as pragas de maior risco fitossanitário nas principais culturas agrícolas nacionais para fins a priorização dos processos de registro de produtos e tecnologias de controle**. Diário Oficial da União, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília/DF, ano 152, n. 161, Seção 1, p. 13, 24 de agosto de 2015.

BRASIL. Portaria Nº 82, de 12 de agosto de 2016. **Define as pragas de maior risco fitossanitário nas principais culturas agrícolas nacionais para fins a priorização dos processos de registro de produtos e tecnologias de controle**. Diário Oficial da União, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília/DF, ano 153, n. 156, Seção 1, p. 1, 15 de agosto de 2016.

CASTILLO, P; VOVLAS, N. ***Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): diagnosis, biology, pathogenicity and management.** Koninklijke Brill NV, Leiden, 2007.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Safra 2020/2021, v. 9, n.1, p. 60-70, 2021.

COOLEN, W. A. *et al.* **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue.** *A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue.*, 1972.

CROMWELL G.L. *et al.* **Variability among sources and laboratories in nutrient analyses of corn and soybean meal.** Journal of Animal Science, v.77, n.12, p.3262-3273, 1999.

CRUCIOL, G. C. D.; COSTA, M. L. N. **Influência de metodologias de inoculação de *Macrophomina phaseolina* no desempenho de cultivares de soja.** Summa Phytopathologica, v. 44, n. 1, p. 32-37, 2018.

DAVE, K. *et al.* **Facets of rhizospheric microflora in biocontrol of phytopathogen *Macrophomina phaseolina* in oil crop soybean.** Archives of Microbiology, p. 1-8, 2020.

DIANESE, A. de C. *et al.* **Podridão vermelha da raiz (*Fusarium* spp.). In Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura.** Embrapa, Brasília, p.29-47, 2010.

DIAS, W. P.; GARCIA, A.; SILVA, J. F. V.; CARNEIRO, G. E. S. **Nematoides em Soja: Identificação e Controle.** Londrina: Embrapa Soja, 2010. 8p. (Circular Técnica 76).

DINARDO-MIRANDA, L. L.; *et al.* **Influência da época de aplicação de nematicidas em soqueiras sobre as populações de nematoides e a produtividade da cana-de-açúcar.** Sistema de Información Científica. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. 2007

FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura). **Representante da FAO Brasil apresenta cenário da demanda por alimentos.** FAO, 2018. Disponível em:<<https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/>> Acesso em: 02 de julho de 2021.

FERRAZ, L.C. **O nematóide *Pratylenchus brachyurus* e a soja sob plantio direto.** Revista Plantio Direto, Passo Fundo, n. 96, p. 23-32, 2006.

FRANCILINO, A.H., *et al.* **Effects of water flow, plant-based baits, and soil pore volume on *Pratylenchus coffeae* mobility.** Nematropica, 47(1), pp.63-73, 2017.

GAL, F., *et al.* **Soil-gas concentrations and flux monitoring at the lacq-rousse co2-geological storage pilot site (French pyrenean foreland): From pre-injection to post-injection.** Applied Sciences, 9(4), p.645, 2019.

GAYLER, S. ; LESER. C.; PRIESACK, E.; TREUTTER, D. **Modelling the effect of**

**environmental factors on the “trade off” between growth and defensive compounds in young apple trees.** *Trees*, Berlin, v. 18, p. 363-371, 2004.

GHAZALBASH, N.; ABDOLLAHI, M. **Effect of medicinal plant extracts on physiological changes in tomato, inoculated with *Meloidogyne javanica* and *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*.** *Pakistan Journal of Nematology*, v. 31(1), 2012.

GONZAGA, V. **Caracterização morfológica, morfométrica e multiplicação in vitro das seis espécies mais comuns de *Pratylenchus* Filipjev, 1936 que ocorrem no Brasil.** Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Tese/dissertação (ALICE), 2006.

GOULART, A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematoides-das-lesões-radiculares (gênero *Pratylenchus*).** Planaltina: Embrapa Cerrados, p.30, 2008.

GUPTA, G. K.; *et al.* **Biology, epidemiology and management of the pathogenic fungus *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid with special reference to charcoal rot of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill).** *Journal of phytopathology*, v.160, n. 4, p. 167-180, 2012.  
Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2012.01884.x> >. Acesso em: 09 de junho de 2021.

HAJJI-HEDFI, L. *et al.* **Biological control of wilt disease complex on tomato crop caused by *Meloidogyne javanica* and *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* by *Verticillium leptobactrum*.** *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, n. 19, p. 18297-18302, 2018.

HASAN, A. **Interaction of *Pratylenchus coffeae* and *Pythium aphanidermatum* and/or *Rhizoctonia solani* on chrysanthemum.** *Phytopathologische Zeitschrift* 123: 227-232, 1988.

HEMMATI, P.*et al.* **Histopathology of charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) in resistant and susceptible cultivars of soybean.** *Rhizosphere*, v. 7, p. 27-34, 2018.

HUA, G. K. H. *et al.* ***Meloidogyne incognita* intensifies the severity of *Fusarium* wilt on watermelon caused by *Fusarium oxysporum f. sp. niveum*.** *Canadian Journal of Plant Pathology*, v. 41, n. 2, p. 261-269, 2019.

ISHIKAWA, M.S.; *et al.* **Seleção de cultivares de soja para resistência à podridão negra da raiz (*Macrophomina phaseolina*).** *Summa Phytopathologica*, v.43, n.4, p. 38-44, 2018.

JENKINS, W. R. B. *et al.* **A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil.** *Plant disease reporter*, v. 48, n. 9, 1964.

JUHÁSZ, A. C. P.; *et al.* **Desafios fitossanitários para a produção de soja.** *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 34, n. 276, p. 66-75, 2013.

KAUR, S.; *et al.*; **Emerging phytopathogen *Macrophomina phaseolina*: biology, economic importance and current diagnostic trends.** *Critical Reviews in Microbiology*, v.38, p.136-151, 2012.

KHAN, S. N. ***Macrophomina phaseolina* como agente causal de podridão de carvão girassol**. Mycopath, v 5, p. 111-118, 2007.

KHAN, M.R., SHARMA, R.K. ***Fusarium*-nematode wilt disease complexes, etiology and mechanism of development**. Indian Phytopathology v.73, p. 615–628, 2020. Disponível em < <https://doi.org/10.1007/s42360-020-00240-z> >. Acesso em 29 de janeiro de 2022.

KIMATI, H. *et al.* **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**: Agronômica Ceres, v. 1997.

LOBO JUNIOR, M. **Importância dos Patógenos de Solo na Cultura do Feijoeiro**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Brasília, 2003. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONT000gvwk5em102wx7ha0g934vg016m2r7.html>> Acesso em: 29 jan. 2022.

LIMA, F. S. O.; DOURADO, D. P.; LIMA, M. P. M.; SILVA FILHO, J. E. M.; LAZARI, T. M.; MURAISHI, C. T. *Pratylenchus brachyurus* em sistemas de cultivo de soja no Tocantins e seu comportamento em culturas de safrinhas. In: CONNEPI-CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, VII, 2012, Palmas-TO, **Resumos...** Palmas: 2012.

LIU, J. Z. *et al.* **Gaining insight into soybean defense responses using functional genomics approaches**. Briefings in functional genomics, v. 14, n. 4, p. 283-290. 2015.

LODHA, S.; MAWAR, R. **Population dynamics of *Macrophomina phaseolina* in relation to disease management: A review**. Journal of Phytopathology, v. 168, n. 1, p. 1-17, 2020.

LORENZINI, G. *et al.* **Photosynthetic response of tomato plants to vascular wilt diseases**. Plant Science, 124: 143–52, 1997.

MAI, W. F.; ABAWI, G. S. **Interactions among root-knot nematodes and *Fusarium* wilt fungi on host plants**. Annual Review of Phytopathology, v. 25, n. 1, p. 317-338, 1987.

MARQUEZ, N. *et al.* ***Macrophomina phaseolina*: General characteristics of pathogenicity and methods of control**. Frontiers in Plant Science, v.12, 2021. Disponível em < <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.634397> >. Acesso em 28 de janeiro de 2022.

MENGISTU, A.; *et al.* **Seasonal Progress of Charcoal Rot and Its Impact on Soybean Productivity**. Plant Disease, v. 95, n.9, p. 1159-1166, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-11-0100>. Acesso em: 23 de julho de 2021.

MICHEREFF, S. J.; *et al.* **Importância dos patógenos e das doenças radiculares em solos tropicais**. Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais, v. 1, p. 1-18, 2005.

MOUNTAIN, W. B.; McKeen, C. D.: **Effect of *Verticillium dahliae* on the population of *Pratylenchus penetrans***. Nematologica 7: 261- 266, 1962.

NEPOMUCENO, A. L.; *et al.* **Características da soja**. Agência Embrapa de Informação

Tecnológica. Brasília.2021. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01\\_24\\_271020069131.html#](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_24_271020069131.html#)>. Acesso em: 23 jun. 2021.

ORLANDO, V. *et al.* **Root-lesion nematodes of potato: current status of diagnostics, pathogenicity and management.** *Plant Pathology*, v. 69, n. 3, p. 405-417, 2020. Disponível em < <https://doi.org/10.1111/ppa.13144> >. Acesso em 29 de janeiro de 2022.

POWELL, N. T. **Interactions between nematodes and fungi in disease complexes.** *Annual review of phytopathology*. Raleigh, v.9, p. 253-274, 1971.

REYES-FRANCO, M. C.; *et al.* **Pathogenic and genetic variability within *Macrophomina phaseolina* from Mexico and other countries.** *Journal of Phytopathology*, v. 154, n. 7-8, p. 447-453, 2006.

RIBEIRO, N. R.; DIAS, W. P.; SANTOS, J. M. **Distribuição de fitonematoides em regiões produtoras de soja no estado do Mato Grosso.** Rondonópolis: Fundação MT, p. 289-296, 2010. (Boletim de Pesquisa de Soja 2010).

SAEED, I.A.M., *et al.* **Limitation to photosynthesis in *Pratylenchus penetrans* and *Verticillium dahliae*– infected potato.** *Crop Science*, 39: 1340–1346, 1999.

SCHROEDER, M. M. *et al.* **A novel Arabidopsis pathosystem reveals cooperation of multiple hormonal response-pathways in host resistance against the global crop destroyer *Macrophomina phaseolina*.** *Scientific reports*, v. 9, n. 1, p. 1-14, 2019. Disponível em < <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56401-2> >. Acesso em 06 de janeiro de 2022.

SOARES, R. M.; MEYER, M. C. **Método de inoculação e escala de notas para avaliar a reação de genótipos de soja à *Macrophomina phaseolina* (Inoculation method and note scale to evaluate soybean genotypes reaction to *Macrophomina phaseolina*).** In: Embrapa Soja-Resumo em anais de congresso (ALICE). Anais do 51º Congresso Brasileiro de Fitopatologia, p. 715, Recife, PE, agosto, 2019.

STRAJNAR, P., *et al.* **Effect of *Meloidogyne ethiopica* parasitism on water management and physiological stress in tomato,** *Eurasian Journal of Plant Pathology*, 132:49–57, 2012.

TAYLOR, A.L.; SASSER, J.N. **Biología, identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz – Espécies de *Meloidogyne*.** Artes gráficas de la Universidad del Estado de Carolina del Norte, Raleigh, 1983.

VERNETTI, F. J. **Origem da espécie, introdução e disseminação no Brasil.** \_\_\_\_\_. Soja: planta, clima, pragas, moléstias e invasoras. Campinas: Fundação Cargil, p. 1-14, 1983.

VRAIN, T. C.: **Effect of *Ditylenchus dipsaci* and *Pratylenchus penetrans* on verticillium wilt of Alfalfa.** *Journal of nematology* 19: 379-383, 1987.

WOLFGANG, A. *et al.* **Novel strategies for soil-borne diseases: exploiting the microbiome and volatile-based mechanisms toward controlling *Meloidogyne*-based disease complexes.** *Frontiers in microbiology*, v. 10, p. 1296, 2019. Disponível em < <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01296> >. Acesso em 29 de janeiro de 2022.

WHEELER, D. L. *et al.* **Evidence of a trans-kingdom plant disease complex between a fungus and plant-parasitic nematodes.** *PloS one*, v. 14, n. 2, p. e0211508, 2019.

YANG, X. B.; NAVI, S. S. **First report of charcoal rot epidemics caused by *Macrophomina phaseolina* in soybean in Iowa.** *Plant Disease*, Saint Paul, v. 89, n.5, p. 526, 2005.

ZHANG, Y. *et al.* **Fungi–Nematode Interactions: Diversity, Ecology, and Biocontrol Prospects in Agriculture.** *Journal of Fungi*, v. 6, n. 4, p. 206, 2020.