UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HORTICULTURA TROPICAL

ERLÂNIA ERICA DANTAS DE LIMA

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA AO PARASITISMO DE *Meloidogyne enterolobii* EM PLANTAS DE PIMENTÃO COM APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO

POMBAL – PB

2026

ERLÂNIA ERICA DANTAS DE LIMA

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA AO PARASITISMO DE *Meloidogyne enterolobii* EM PLANTAS DE PIMENTÃO COM APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Fernandes Antonio de Almeida

POMBAL – PB

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732i Lima, Erlânia Erica Dantas de.
Indução de resistência ao parasitismo de *Meloidogyne enterolobii* em plantas de pimentão com aplicação de ácido salicílico / Erlânia Erica Dantas de Lima. – Pombal, 2026.
46 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2026.
"Orientação: Prof. Dr. Fernandes Antonio de Almeida".
Referências.

1. *Capsicum annuum* L. 2. Nematoide-das-galhas. 3. Manejo alternativo. I. Almeida, Fernandes Antonio de. II. Título.

CDU 635.649(043)

Elaboração da Ficha Catalográfica:
Maria Auxiliadora Costa Dias Pereira
Bibliotecária-Documentalista CRB-15/716

ERLÂNIA ERICA DANTAS DE LIMA

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA AO PARASITISMO DE *Meloidogyne enterolobii* EM PLANTAS DE PIMENTÃO COM APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, para obtenção do título de mestre.

Aprovado em: 22 de julho de 2026.

Prof.: Dr. FERNANDES ANTONIO DE ALMEIDA
CCTA/UAGRA/UFCG
Orientador

Prof.: Dr. KILSON PINHEIRO LOPES
CCTA/UAGRA/UFCG
Examinador interno

Prof.: Dr. ANCELIO RICARDO DE OLIVEIRA GONDIM
CCTA/UAGRA/UFCG
Examinador Externo

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM HORTICULTURA TROPICAL
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

COORDENAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HORTICULTURA TROPICAL - PPGHT

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 121

Aos vinte e dois (22) dias do mês de julho (07) do ano de dois mil e vinte e seis (2026), às nove (09) horas e trinta (30) minutos, de forma online, realizou-se a prova de Defesa de Dissertação de Nº 121, intitulada: **"INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA AO PARASITISMO DE Meloidogyne enterolobii EM PLANTAS DE PIMENTÃO COM APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO",** de autoria da aluna **Erlânia Erica Dantas de Lima**, do Programa de Pós-graduação em Horticultura Tropical, em nível de Mestrado. A Comissão Examinadora esteve constituída pelos professores: o **Prof. Dr. Fernandes Antonio de Almeida** na condição de Orientador, o **Prof. Dr. Kilson Pinheiro Lopes** na condição de Primeiro Examinador e o **Prof. Dr. Ancelio Ricardo De Oliveira Gondim,** na condição de Segundo Examinador. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, a candidata foi **APROVADA** pela Comissão Examinadora. Conforme Resolução 06/2023 do PPGHT/UFCG, foi concedido um prazo de 30 (trinta) dias, para o candidato efetuar as correções sugeridas pela Comissão Examinadora e apresentar o trabalho em sua redação definitiva, sob pena de não expedição do Diploma. E, para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão.

Prof. Dr. Fernandes Antonio de Almeida
1º Orientador - Presidente

Prof. Dr. Kilson Pinheiro Lopes
1º Examinador

Prof. Dr. Ancelio Ricardo De Oliveira Gondim
2º Examinador

Documento assinado eletronicamente por **ERLÂNIA ERICA DANTAS DE LIMA**, **Usuário Externo**, em 28/07/2026, às 15:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **ANCELIO RICARDO DE OLIVEIRA GONDIM**, **PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/07/2026, às 13:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **KILSON PINHEIRO LOPES**, **PROFESSOR 3 GRAU**, em 29/07/2026, às 15:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

Documento assinado eletronicamente por **FERNANDES ANTONIO DE ALMEIDA**, **PROFESSOR 3 GRAU**, em 10/08/2026, às 15:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade, informando o código verificador **6640424** e o código CRC **EBBD0315**.

Referência: Processo nº 23096.039304/2026-98 SEI nº 6640424

A Deus primeiramente.
A você Pai Urcino (in memoriam).
A senhora Mãe Francisca por tudo que já fez e continua fazendo.
A minha querida avó Maria Raquelina (in memoriam).
Ao meu esposo Danilo por todo esforço e apoio.
A José Carlos meu filho que nasceu durante essa jornada.
E a todos que fizeram parte dessa jornada comigo!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por me guiar sempre, ter me permitido chegar até aqui mesmo com os desafios do dia a dia Ele me deu forças para vencer todas batalhas impostas.

Quero deixar registrado que essa conquista mais uma vez é a realização do sonho do meu pai Urcino Ferreira de Lima (in memoriam) apesar de não estar presente em vida, vive em mim e onde estiver saiba que sou muito grata por sempre confiar que sua filha se formaria e agora mais uma etapa vencida, conquistando o título de mestre.

Minha mãe Francisca Dantas Furtado que desde sempre faz de tudo para me ver bem, batalhou desde sempre para que eu tivesse um futuro brilhante e mesmo sendo adulta tenta me ajudar de todas maneiras possíveis.

Quero expressar minha eterna gratidão ao meu marido Danilo Alexandre Rodrigues que antes mesmo deu entrar para o mestrado já confiava nessa aprovação, acreditou que seria com bolsa e assim Deus realizou, esteve presente desde a matricula em março de 2024 onde ingressei com mestranda no Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical na UFCG de Pombal, me auxiliou em todas as fases, pegou no pesado comigo, enfrentou os desafios impostos e aqui estamos conquistando esse título, que só é possível graças nosso esforço juntos, obrigada por tudo, por ser esse companheiro incrível.

Durante esse período Deus também me concedeu um dos melhores presentes que uma mulher pode receber que é gerar uma vida, aqui dedico essa conquista ao meu tão amado filho José Carlos Dantas Rodrigues, que nasceu nesse período e me concede forças para vencer todos os dias por ele.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernandes Antonio de Almeida que desde o primeiro momento confiou em mim como sua orientanda e acreditou que eu conseguiria chegar até aqui e sempre me incentivou a buscar sempre resultados nos estudos, me aconselha a seguir para possíveis doutorados e sempre esteve me auxiliando nessa caminhada, sua compreensão, ajudar e orientação foram partes cruciais para que essa conquista fosse possível de ser alcançada, lhe desejo muito sucesso, serei eternamente grata por tudo até aqui.

Agradeço também a Equipe de Fitopatologia Marília, Emilly, Francisco, Raquel e Brenda, por toda paciência, auxilio nas atividades, compreensão, apoio, vocês foram uma equipe incrível, obrigada.

A meus colegas de turma Alesia Alves de Sousa, Geraldavane Lacerda Lopes, Irlan Victor de Sousa Palmeira e Raquel Ferreira dos Santos que iniciaram essa jornada junto comigo,

passamos por boas batalhas até aqui e concluímos essa fase todos juntos, desejo um futuro prospero para vocês, que cada um tenha um caminho brilhante pela frente e que Deus permaneça os abençoando.

Meus agradecimentos a todos que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical – PPGHT e todos da UFCG do Campus Pombal que de alguma forma me ajudaram nesse processo.

E por fim, deixo meus agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para que essa conquista fosse possível, lembrarei de cada um sempre, minha eterna gratidão a todos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do município de Pombal-PB. (Fonte: Google imagens). 23
Figura 2. Produção de mudas de pimentão em bandejas para transplantio em vasos. 24
Figura 3. Aplicação dos tratamentos a base de ácido salicílico em diferentes concentrações em plantas de pimentão. 25
Figura 4. Inoculação de *Meloidogyne enterolobii* em plantas de pimentão após aplicação dos tratamentos à base de ácido salicílico.....26
Figura 5. Avaliações de características agronômicas: volume radicular (A), comprimento radicular (B), fitomassa fresca radicular (C) e altura de plantas (D), de pimentão na presença de *Meloidogyne enterolobii*, sob aplicação de ácido salicílico. 27
Figura 6. Avaliação do parasitismo: número de galhas (A), solução de floxina B (B) e contagem de massa de ovos (C). 27
Figura 7. Estimativa do número de juvenis e ovos em amostras de solo (100 cm3), através da técnica da flutuação e centrifugação em solução de sacarose. 28
Figura 8. Estimativa do número de juvenis e ovos de *Meloidogyne enterolobii* nas raízes de plantas de pimentão, através da técnica da flutuação e centrifugação em solução de sacarose. 29
Figura 9. Comprimento radicular de plantas de pimentão sob a presença de *Meloidogyne enterolobbi* em função da aplicação de ácido salicílico. 32
Figura 10. Número de galhas (A) e massa de ovos (B) de *Meloidogyne enterolobii* em plantas de pimentão após aplicação de ácido salicílico. 35
Figura 11. Ovos na raiz (A) e juvenil na raiz (B) de *Meloidogyne enterolobii* em plantas de pimentão após aplicação de ácido salicílico. 37
Figura 12. Juvenil no solo (A), nematoides por grama de raiz (B) e fator de reprodução de *Meloidogyne enterolobii* em plantas de pimentão, após aplicação de ácido salicílico.....39

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1. Resultado da análise de fertilidade da amostra de substrato utilizada no experimento. 24

Tabela 2. Quadrados médios e coeficientes de variação das características agronômicas altura de plantas (AP), massa fresca de raiz (MFR), comprimento radicular (CR) e volume de raiz (VR) de plantas de pimentão submetidas a concentrações de ácido salicílico e inoculadas com *Meloidogyne enterolobii*. Pombal-PB, 2026. 30

Tabela 3. Quadrados médios e coeficientes de variação para o número de galhas (NG), juvenis na raiz (JR), ovos na raiz (OR), juvenis no solo (JS), massa de ovos (MO), nematoides por gramas de raiz (N/gr) e fator de reprodução (FR) de plantas de pimentão submetidas à aplicação de ácido salicílico. Pombal-PB, 2026. 34

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 10
LISTA DE TABELAS 11
RESUMO 13
ABSTRACT 14
1. INTRODUÇÃO 15
2. REFERENCIAL TEÓRICO 17
2.1. Importância socioeconômica da cultura do pimentão 17
2.2. Impacto de *Meloidogyne enterolobii* na cultura do pimentão 17
2.3. Principais métodos de manejo a *Meloidogyne enterolobii* no pimentão 18
2.4. Mecanismos de Ação do Ácido Salicílico em plantas 20
2.5. Uso do Ácido Salicílico para controlar nematoides 21
3. MATERIAL E MÉTODOS 23
3.1 Localização e caracterização da área experimental dos ensaios 23
3.2 Obtenção e multiplicação do inóculo 23
3.3 Instalação e condução do experimento 24
3.4 Parâmetros avaliados 26
3.4.1 Características agronômicas 26
3.5 Análise Estatística 29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
5. CONCLUSÕES 41
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 42

RESUMO

LIMA, E.; E.; D. **Indução de resistência ao parasitismo de** *Meloidogyne enterolobii* **em plantas de pimentão com aplicação de ácido salicílico**, 2026. 46p. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal- PB[1].

A olericultura possui elevada relevância socioeconômica no Brasil, destacando-se como atividade fundamental para a segurança alimentar, geração de renda e fortalecimento da agricultura familiar. Nesse contexto, o pimentão (*Capsicum annuum* L.) figura entre as hortaliças de maior importância econômica; entretanto, sua produção é severamente limitada por problemas fitossanitários, especialmente pela incidência de nematoides-das-galhas do gênero *Meloidogyne*, com destaque para *M. enterolobii*, considerada uma das espécies mais agressivas e de difícil controle. O manejo convencional baseado no uso de nematicidas químicos apresenta restrições ambientais e riscos à saúde humana, reforçando a necessidade de alternativas sustentáveis. Assim, objetivou-se avaliar a eficácia da indução de resistência em plantas de pimentão ao parasitismo de *M. enterolobii* por meio da aplicação de ácido salicílico, bem como identificar a dose mais eficiente. O experimento foi conduzido entre julho e outubro de 2025, em casa de vegetação e Laboratório de Fitopatologia do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal-PB. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dez tratamentos correspondentes às concentrações de ácido salicílico (0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 mM), com cinco repetições aplicadas em uma planta por parcela experimental. Quinze dias após o transplantio das mudas de pimentão, cultivar "Cascadura Ikeda" (Topseed®), para vasos de polietileno de 5 dm^3, realizou-se a aplicação dos tratamentos. Sete dias após a aplicação dos tratamentos, as plantas de pimentão foram inoculadas com 4.000 ovos/juvenis de *M. enterolobii*. Sessenta dias após a aplicação do ácido salicílico, foram avaliadas as características agronômicas: altura de planta, massa fresca radicular, comprimento radicular, volume de raiz e massa fresca do sistema radicular das plantas de pimentão, além das características do parasitismo: número de galhas, massa de ovos, juvenis na raiz, ovos na raiz, juvenis no solo, fator de reprodução e nematoides por grama de raiz de *M. enterolobii*. Apenas o comprimento radicular foi influenciado significativamente pelos tratamentos, apresentando resposta quadrática, com máximo incremento na concentração estimada de 5,66 mM. Em contrapartida, todas as variáveis de parasitismo foram significativamente reduzidas pelo aumento das concentrações de ácido salicílico, destacando-se a diminuição do número de galhas, da massa de ovos, dos juvenis nas raízes e no solo, dos nematoides por grama de raiz e do fator de reprodução, que atingiu valores inferiores a 1 nas maiores concentrações avaliadas. Os resultados demonstram que o ácido salicílico é um eficiente indutor de resistência em plantas de pimentão contra *M. enterolobii*, sendo seu efeito dependente da concentração aplicada, com evidências de uma faixa de aplicação capaz de conciliar a redução do parasitismo e a manutenção do desempenho agronômico da cultura.

Palavra-chave: *Capsicum annuum* L., nematoide-das-galhas, manejo.

[1] Orientador: Prof. Dr. Fernandes Antonio de Almeida, CCTA/UFCG.

ABSTRACT

LIMA, E.; E.; D. **Induction of Resistance to *Meloidogyne enterolobii* Parasitism in Sweet Pepper Plants Through Salicylic Acid Application**, 2026. 46p. Dissertation (Master Degree in Tropical Horticulture) - Federal University of Campina Grande, Pombal-PB[1].

Olericulture has high socioeconomic relevance in Brazil, standing out as a fundamental activity for food security, income generation, and the strengthening of family farming. In this context, sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) is among the most economically important vegetable crops; however, its production is severely limited by phytosanitary problems, particularly the occurrence of root-knot nematodes of the genus *Meloidogyne*, especially *M. enterolobii*, which is considered one of the most aggressive and difficult-to-control species. Conventional management based on the use of chemical nematicides has environmental limitations and poses risks to human health, reinforcing the need for sustainable alternatives. Thus, this study aimed to evaluate the effectiveness of resistance induction in sweet pepper plants against *M. enterolobii* parasitism through the application of salicylic acid, as well as to identify the most effective concentration. The experiment was conducted from July to October 2025 in a greenhouse and at the Plant Pathology Laboratory of the Center for Agro-Food Science and Technology, Federal University of Campina Grande, Pombal Campus, Paraíba, Brazil. The experimental design was completely randomized, with ten treatments corresponding to salicylic acid concentrations (0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, and 9.0 mM), with five replicates and one plant per experimental unit. Fifteen days after transplanting the sweet pepper seedlings, cultivar 'Cascadura Ikeda' (Topseed®), into 5 dm^3 polyethylene pots, the treatments were applied. Seven days after treatment application, the sweet pepper plants were inoculated with 4,000 eggs/juveniles of *M. enterolobii*. Sixty days after salicylic acid application, the following agronomic characteristics were evaluated: plant height, fresh root mass, root length, root volume, and fresh mass of the root system. The following parasitism-related variables were also evaluated: number of galls, egg masses, juveniles in the roots, eggs in the roots, juveniles in the soil, reproduction factor, and number of nematodes per gram of root of *M. enterolobii*. Among the agronomic variables, only root length was significantly influenced by the treatments, showing a quadratic response, with the maximum increase occurring at the estimated concentration of 5.66 mM. In contrast, all parasitism-related variables were significantly reduced as salicylic acid concentrations increased, particularly the number of galls, egg masses, juveniles in the roots and soil, nematodes per gram of root, and reproduction factor, which reached values below 1 at the highest concentrations evaluated. The results demonstrate that salicylic acid is an effective inducer of resistance in sweet pepper plants against *M. enterolobii*, with its effect depending on the applied concentration and indicating a concentration range capable of simultaneously reducing nematode parasitism while maintaining the agronomic performance of the crop.

Keywords: *Capsicum annuum* L., root-knot nematode, management.

[1] Orientador: Prof. Dr. Fernandes Antonio de Almeida, CCTA/UFCG.

1. INTRODUÇÃO

A olericultura desempenha papel estratégico no contexto agrícola brasileiro, tanto sob a perspectiva econômica quanto social, destacando-se como atividade essencial para a segurança alimentar, geração de renda e fixação do produtor no meio rural. Nesse contexto cultivo do pimentão ocorre em escala global, abrangendo mais de uma centena de países distribuídos por todos os continentes, com predominância da produção no continente asiático, responsável por aproximadamente 67% do volume mundial, seguido pelas Américas, África e Europa (FRANCZUK et al., 2023).

No Brasil, dados do Censo Agropecuário de 2017 indicam uma produção superior a 224 mil toneladas, movimentando cerca de R$ 319 milhões e envolvendo mais de 32 mil estabelecimentos agropecuários, com maior concentração nas regiões Sudeste e Nordeste (IBGE, 2017). Informações disponibilizadas por Pedroso & Ferreira (2023) indicam que a produção de pimentão no Brasil apresenta ampla distribuição regional e é conduzida majoritariamente por pequenos produtores.

Entretanto, apesar de sua relevância, o cultivo do pimentão enfrenta diversos entraves fitossanitários, entre os quais se destacam os nematoides fitoparasitas, responsáveis por expressivas perdas de produtividade. Dentre esses organismos, os nematoides-das-galhas do gênero *Meloidogyne* figuram como um dos principais fatores limitantes da produção, devido à sua ampla distribuição geográfica, elevada capacidade reprodutiva e ampla gama de hospedeiros (COLLANGE et al., 2011).

A infecção por *M. enterolobii* ocorre nos órgãos subterrâneos das plantas, provocando a formação de galhas que comprometem a absorção de água e nutrientes e resultam em sintomas visíveis na parte aérea, como clorose, murcha, redução do crescimento e queda na produtividade. Em condições severas, as perdas podem ultrapassar 65%, tornando essa espécie uma das mais destrutivas entre os nematoides-das-galhas (SIKANDAR et al., 2024).

O manejo de *M. enterolobii* no cultivo do pimentão constitui um desafio complexo, uma vez que o controle tem sido baseado, predominantemente, no uso de nematicidas químicos. Contudo, muitos desses produtos apresentam elevada toxicidade ambiental e riscos à saúde humana, levando à proibição de moléculas como o aldicarbe e o carbofurano (LAI et al., 2025). Diante desse cenário, cresce a demanda por estratégias de manejo sustentáveis, fundamentadas na integração de práticas culturais, no controle biológico e no uso de indutores de resistência vegetal.

Entre as alternativas promissoras destaca-se o ácido salicílico, um composto fenólico reconhecido por seu papel na regulação do crescimento vegetal e na ativação dos mecanismos de defesa das plantas. Esse fitormônio atua como sinalizador central da resistência sistêmica adquirida, promovendo respostas metabólicas, fisiológicas e bioquímicas que aumentam a tolerância das plantas aos estresses bióticos, incluindo a infecção por nematoides fitoparasitas (KAYA et al., 2023; XIN et al., 2025). Estudos demonstram que a aplicação de ácido salicílico pode reduzir os danos causados por patógenos do solo, atenuando os impactos negativos sobre o desenvolvimento vegetal e contribuindo para a manutenção da produtividade (ELDEEB et al., 2022; MARTINUZ et al., 2025).

Diante da importância econômica do pimentão, dos elevados prejuízos causados por *M. enterolobii* e das limitações associadas aos métodos convencionais de controle, torna-se fundamental o aprofundamento de estudos que avaliem estratégias alternativas e sustentáveis de manejo. Nesse sentido, este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia da indução à resistência em plantas de pimentão a *M. enterolobii* com aplicação de ácido salicílico via solo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Importância socioeconômica da cultura do pimentão

O pimentão (*Capsicum annuum*), pertencente à família Solanaceae**,** ocupa a terceira posição entre as espécies mais cultivadas desse grupo, ficando atrás apenas do tomate e da batata (ARAGÃO et al., 2023). Destaca-se entre as principais hortaliças produzidas no Brasil em razão de sua expressiva importância econômica, elevado valor nutricional e ampla aceitação pelos consumidores. É rico em vitaminas essenciais, como A, C e E e em compostos antioxidantes com potencial funcional, figurando entre as dez hortaliças de maior relevância no cenário agrícola nacional (FERREIRA & MARTINS, 2021).

Segundo Devi et al (2021), o pimentão é cultivado em todo o mundo devido ao sabor delicado e agradável, à diversidade de cores e ao elevado teor de metabólitos secundários. Sua textura crocante e suculenta, aliada ao sabor característico, que combina leve amargor com notas adocicadas e um toque levemente salgado, contribui para sua ampla aceitação pelos consumidores. Em escala mundial, o cultivo do pimentão está presente em 116 países distribuídos por todos os continentes. O continente asiático é responsável por cerca de 67% da produção mundial, seguido pelas Américas (12,3%)**,** África (10,6%) e Europa (10,0%), (FRANCZUK et al., 2023).

No Brasil, conforme dados do Censo Agropecuário de 2017, foram produzidas 224.286 toneladas de pimentão, movimentando cerca de R$ 319,36 milhões em 32.507 estabelecimentos agropecuários, com maior concentração nas regiões Sudeste e Nordeste (IBGE, 2017).

Nos últimos anos, os consumidores brasileiros têm demonstrado uma preocupação crescente com a qualidade dos alimentos que consomem. Para atender às exigências e à demanda do mercado, o cultivo de hortaliças passou por uma expansão, acompanhada da adoção de práticas de manejo mais eficientes voltadas à preservação da qualidade dos produtos. O aumento do consumo e a busca por hortaliças de melhor padrão impulsionaram a introdução de novas tecnologias em toda a cadeia produtiva (SILVA et al., 2019).

2.2. Impacto de *Meloidogyne enterolobii* na cultura do pimentão

O *Meloidogyne enterolobii* pertencente à Ordem Tylenchida e à Família Meloidogynidae, sendo comumente conhecido como nematoide-das-galhas-da-goiabeira. Possui uma ampla gama de plantas hospedeiras e infecta exclusivamente os órgãos subterrâneos, como raízes e tubérculos, podendo infectar as plantas em qualquer estágio de desenvolvimento (CASTRO, 2019).

Entre as espécies do gênero *Meloidogyne* que causam maiores prejuízos ao cultivo do pimentão destacam-se *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* e, principalmente, cuja capacidade de superar os mecanismos de resistência presentes em cultivares desenvolvidos para controlar outras espécies de *Meloidogyne*, torna seu manejo particularmente difícil (EMBRAPA, 2016).

Os nematoides das galhas representam uma séria ameaça à agricultura mundial, causando grandes reduções na produtividade. Entre eles, o *M. enterolobii* destaca-se pela ampla distribuição e capacidade de infectar diversas espécies vegetais, provocando a formação de galhas nas raízes, deformações radiculares e favorecendo a entrada de patógenos secundários. Como consequência, observa-se redução da absorção de água e nutrientes, crescimento reduzido, clorose, murcha e queda na produtividade. Em áreas infestadas, os sintomas geralmente ocorrem em reboleiras e as perdas de rendimento podem ultrapassar 65%**,** tornando *M. enterolobii* uma das mais destrutivas entre os nematoides-das-galhas (SIKANDAR et al, 2024; EMBRAPA, 2016).

Carrillo-Falsio et al. (2020), ao avaliar a resistência de diferentes acessos de pimentão a *M. enterolobii* no México, afirmam que a inoculação reduziu a altura da planta, o teor relativo de clorofila e o número de flores em comparação com controles não inoculados, evidenciando efeito direto sobre o crescimento e o potencial produtivo da cultura.

Em nível anatômico, o nematoide penetra e se estabelece nas raízes, induzindo células gigantes e hipertrofia ao redor dos sítios de alimentação, o que sustenta sua colonização e o dano fisiológico observado na planta (MARQUES et al., 2026; SHI et al., 2025). Marques et al. (2020) avaliando a penetração e desenvolvimento de *M. enterolobii* em *Capsicum* spp. observaram que em materiais suscetíveis, o desenvolvimento é mais rápido e a reprodução é maior, em que fêmeas plenamente desenvolvidas apareceram aos 28 dias em ‘Cambuci’, enquanto no material resistente ‘Bode Roxa’ ainda havia juvenis J4 aos 35 dias, com menor fator de reprodução.

2.3. Principais métodos de manejo a *Meloidogyne enterolobii* no pimentão

O manejo de *Meloidogyne enterolobii* deve basear-se na integração de medidas preventivas, culturais, biológicas e genéticas, uma vez que nenhuma estratégia isolada é capaz de proporcionar controle eficiente do patógeno. Entre as principais recomendações destacam-se a utilização de mudas sadias, a escolha adequada da área de cultivo, a rotação de culturas com gramíneas não hospedeiras, o controle de plantas daninhas, a incorporação de matéria

orgânica, o uso de plantas antagonistas, como crotalária, além da solarização associada à biofumigação e da eliminação de restos culturais (KIMATI et al., 2005; EMBRAPA, 2016).

Nos últimos anos, estratégias biológicas têm recebido crescente atenção como alternativas aos nematicidas convencionais. Nesse contexto, Puttawong et al. (2024) verificaram que cepas de *Bacillus* apresentaram desempenho semelhante ao da abamectina no controle de *M. enterolobii*, reduzindo entre 92% a 94% a eclosão dos nematoides e promovendo mortalidade entre 99% a 100% dos juvenis de segundo estádio. Esses resultados evidenciam o potencial desses microrganismos como agentes de controle biológico para o manejo do nematóide-das-galhas.

Outra estratégia promissora é a desinfestação anaeróbica do solo, também denominada desinfestação redutiva. Essa técnica consiste na incorporação de fontes de carbono facilmente degradáveis, seguida da cobertura do solo com filme plástico, criando um ambiente anaeróbico que favorece a atividade microbiana promovendo processos fermentativos capazes de controlar de forma eficiente fungos, bactérias, nematoides e plantas daninhas do solo (WU et al, 2024). De acordo com esses autores, a utilização de farelo de trigo como fonte de carbono torna essa prática uma alternativa eficiente e ambientalmente sustentável para o manejo de *M. enterolobii*, contribuindo, simultaneamente, para o aumento da produtividade das culturas.

A resistência genética é considerada uma das estratégias mais eficientes e desejáveis para o manejo de nematóides fitoparasitas (KHANAL et al., 2018). Neste contexto, a identificação de genótipos resistentes constitui etapa fundamental para os programas de melhoramento genético voltados ao desenvolvimento de cultivares com resistência aos fitonematoides (CARRILLO FALSIO et al., 2020). Complementarmente, recomenda-se a utilização cultivares ou porta-enxertos de pimentão que apresentem níveis de resistência disponíveis comercialmente, integrando um conjunto de práticas de manejo destinado a reduzir a pressão do patógeno e manter a produtividade da cultura (EMBRAPA, 2016).

Além dessas estratégias, a utilização de fitormônios e fitoativadores capazes de induzir os mecanismos de defesa das plantas tem se destacado como uma abordagem complementar e sustentável para o manejo de fitonematoides em culturas hortícolas. Diferentemente de métodos que atuam diretamente sobre o patógeno, a indução de resistência baseia-se na ativação ou potencialização das respostas de defesa do próprio hospedeiro, podendo envolver mecanismos relacionados à resistência sistêmica adquirida (SAR). Entre os compostos estudados destacam-se o ácido salicílico (AS) e seus análogos funcionais, como o acibenzolar-S-metil (ASM/BTH), capazes de ativar respostas de defesa e reduzir a penetração, o desenvolvimento e/ou a reprodução de nematoides-das-galhas. Em solanáceas, incluindo tomateiro, berinjela e

pimentão, a aplicação de ativadores de resistência demonstrou potencial para reduzir a formação de galhas e a reprodução de Meloidogyne, embora sua eficiência seja dependente da concentração e da forma de aplicação (MOLINARI, 2016).

Em tomateiro, Moslemi, Fatemy & Bernard (2016) observaram que a aplicação de ácido salicílico reduziu expressivamente a reprodução de *M. javanica*, enquanto estudos envolvendo *M. incognita* demonstraram que esse fitormônio participa da sinalização das respostas de defesa e pode promover a expressão de genes relacionados à resistência sistêmica adquirida (MOLINARI et al., 2014). O emprego do ácido salicílico apresenta-se como uma alternativa promissora no manejo integrado de fitonematoides, justificando a necessidade de compreender seus mecanismos de ação e sua utilização na indução de resistência de plantas ao parasitismo por *Meloidogyne* spp.

2.4.Mecanismos de Ação do Ácido Salicílico em plantas

O ácido salicílico é um composto fenólico amplamente reconhecido como um importante fitormônio, desempenhando papel fundamental na regulação do crescimento, do desenvolvimento e das respostas das plantas a diferentes condições de estresse. (XIN et al., 2025). Além de atuar na modulação de múltiplas rotas fisiológicas e bioquímicas, exerce função central nos sistemas de defesa vegetal, funcionando como um sinalizador capaz de coordenar respostas adaptativas frente a fatores ambientais adversos e contribuir para a manutenção do equilíbrio fisiológico e da resistência das plantas, especialmente contra patógenos de hábito biotrófico e hemibiotrófico (KAYA et al., 2023). Nesse contexto, participa de redes de sinalização associadas à imunidade vegetal, modulando a expressão de proteínas relacionadas à patogênese, genes reguladores e rotas hormonais envolvidas nas respostas ao estresse biótico (MISHRA et al., 2024).Segundo Kumar (2014), embora o derivado do ácido salicílico, a aspirina, seja conhecido há décadas como agente anti-inflamatório e tenha sido o primeiro medicamento sintético com essa finalidade, sua função fisiológica nas plantas foi demonstrada apenas em 1987. Na ocasião, verificou-se que plantas de tabaco tratadas com aspirina apresentavam maior resistência ao vírus do mosaico do tabaco, resposta associada à indução da expressão de proteínas relacionadas à patogênese, consolidando o papel do ácido salicílico na ativação da resistência sistêmica adquirida.

Além da sua atuação na resistência sistêmica adquirida, o ácido salicílico participa dos processos de percepção, transdução de sinais e ativação de respostas locais e sistêmicas. Sua biossíntese ocorre principalmente pelas vias do isocorismato e da fenilalanina amônia-liase, sendo essa produção influenciada pela espécie vegetal, pelo tecido avaliado e pelo tipo de

agente estressor. Essa diversidade metabólica explica, em parte, a variabilidade das respostas mediadas por esse fitormônio entre espécies herbáceas, lenhosas e diferentes sistemas de interação planta-patógeno (ULLAH et al., 2023).

As respostas desencadeadas pelo ácido salicílico incluem o acúmulo de espécies reativas de oxigênio em níveis sinalizadores, a indução de genes de defesa, a ativação de proteínas relacionadas à patogênese e o fortalecimento de barreiras físicas e bioquímicas que dificultam a colonização dos tecidos vegetais por patógenos (MISHRA et al., 2024). Além disso, esse fitormônio interage com outros reguladores vegetais, como ácido jasmônico, etileno, auxinas, giberelinas e ácido abscísico, formando uma complexa rede de comunicação hormonal que permite à planta ajustar a intensidade das respostas de defesa de acordo com o tipo de estresse e o organismo agressor (MISHRA et al., 2024; FANG et al., 2025).

Dessa forma o ácido salicílico não deve ser compreendido apenas como uma molécula relacionada à defesa vegetal, mas como um regulador que integra processos de crescimento, desenvolvimento e proteção. O equilíbrio entre essas funções permite otimizar o investimento metabólico da planta em mecanismos de defesa sem comprometer seu desenvolvimento, característica que evidencia a importância na adaptação a condições ambientais adversas (FANG et al., 2025).

2.5. Uso do Ácido Salicílico para controlar nematoides

Os nematoides parasitas de plantas constituem uma das principais limitações à produtividade agrícola em nível mundial, sendo responsáveis por perdas estimadas em 12,3% da produção global. Entre esses organismos, os nematoides-das-galhas (*Meloidogyne* spp.). A infecção compromete o desenvolvimento das plantas, causando galhas radiculares, redução do crescimento, clorose foliar, murcha sob altas temperaturas e prejuízos a absorção e translocação de água e nutrientes, podendo culminar na morte das plantas (ELDEEB et al, 2022).

Historicamente, o manejo dos nematoides-das-galhas tem sido baseado no uso de nematicidas químicos. Entretanto, muito desses produtos apresentam elevada toxicidade ambiental e riscos à saúde humana, o que levou à proibição de moléculas como o aldicarbe e o carbofurano (LAI et al., 2025). Em razão dessas limitações, estratégias sustentáveis têm recebido crescente atenção, incluindo nematicidas de origem botânica, controle biológico, rotação de culturas com espécies não hospedeiras, utilização de cultivares resistentes e outras práticas culturais. Além disso, agentes de biocontrole têm se mostrado promissores por atuarem sobre ovos, juvenis, fêmeas e sobre a capacidade infectiva dos nematoides no sistema radicular, reduzindo a dependência de nematicidas sintéticos (KHAN et al., 2023; SHAHID; SHAFI,

2025).Nesse contexto, o ácido salicílico destaca-se como um potencial indutor de resistência, capaz de aumentar a tolerância das plantas ao ataque de nematóides fitoparasitas por meio da ativação de mecanismos metabólicos, fisiológicos e bioquímicos de defesa (ELDEEB et al, 2022). Estudos demonstram que sua aplicação pode atenuar os impactos de patógenos do solo sobre o desenvolvimento vegetal (MARTINUZ et al., 2025). Em *Solanum peruvianum*, por exemplo, Du et al. (2021) verificaram que o ácido salicílico, em interação com o ácido jasmônico e espécies reativas de oxigênio, participa da resistência a *Meloidogyne incognita*, especialmente sob temperaturas elevadas, evidenciando que a defesa contra nematoides resulta da integração de diferentes vias de sinalização hormonal. Esses resultados indicam que a defesa contra nematoides envolve uma rede hormonal integrada, e não apenas a ação isolada de um único regulador vegetal.

A interação entre plantas e nematoides caracteriza-se por um processo dinâmico, no qual a planta ativa mecanismos de defesa, enquanto o nematoide desenvolve estratégias para superar ou suprimir essas respostas. Segundo Zou et al. (2024), a percepção do parasita pela planta desencadeia uma complexa rede de sinalização envolvendo hormônios, ativação de genes de defesa e reorganização celular. Em contrapartida, os nematoides secretam moléculas efetoras capazes de interfeir na imunidade vegetal e favorecer a formação e a manutenção de células nutridoras essenciais ao desenvolvimento.

Essa estratégia de supressão da defesa é particularmente relevante para *Meloidogyne enterolobii*, espécie de elevada importância agrícola e reconhecida pela dificuldade de manejo. Feng et al. (2024) identificaram um efetor do tipo corismato mutase secretado por esse nematoide, capaz de manipular a imunidade da planta, favorecendo o parasitismo. Como o corismato é precursor de compostos relacionados à defesa, incluindo o ácido salicílico, a interferência nessa rota pode comprometer a resposta da planta e reduzir a expressão de marcadores de defesa, como genes relacionados à via do ácido salicílico. Esses resultados reforçam o potencial do ácido salicílico como indutor de resistência e justificam sua investigação como estratégia complementar para o manejo de *M. enterolobii*.

Tomar et al. (2026) ressaltam que a ativação de respostas de defesa vegetal, incluindo mecanismos mediados por fitormônios como ácido salicílico, ácido jasmônico e etileno, pode contribuir para estratégias mais sustentáveis e menos dependentes de moléculas de alta toxicidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental dos ensaios

O experimento foi conduzido em estufa com sombrite e no Laboratório de Fitopatologia, situado no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campus de Pombal, PB, nos meses de julho a outubro de 2025 (Figura 1). A localização geográfica está definida pelas coordenadas: 06°47'20' de latitude Sul, 37º48'01' de longitude Oeste e altitude aproximada de 184 m (BELTRÃO et al., 2005).

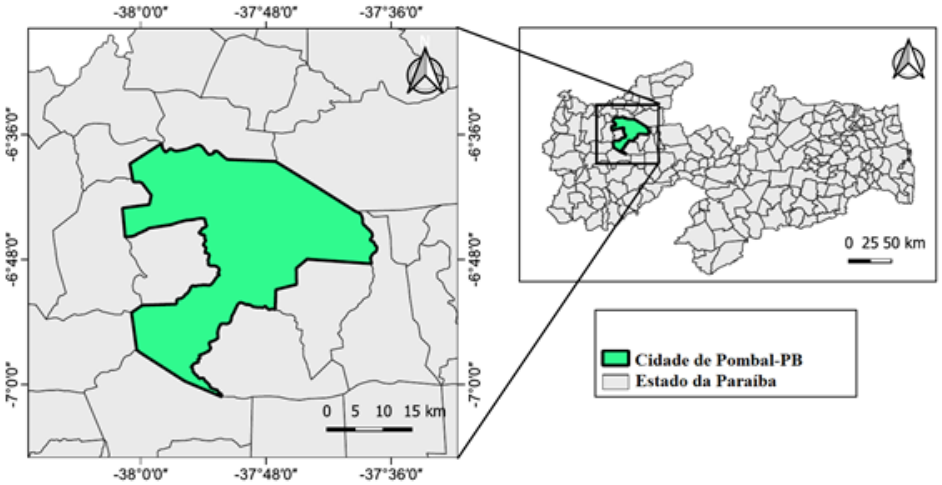


Figura 1. Mapa de localização do município de Pombal-PB. (Fonte: Google imagens).

3.2 Obtenção e multiplicação do inóculo

O inóculo de *Meloidogyne enterolobii* utilizado nos experimentos foi obtido junto à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). A identificação prévia da espécie foi realizada em lâminas temporárias com formalina, examinadas em microscópio óptico. A confirmação da identidade do nematoide baseou-se na análise das características morfoanatômicas, por meio do exame da configuração perineal, conforme Taylor & Netscher (1974), e da morfologia da região labial dos machos, conforme Eisenback et al. (1981). Adicionalmente, o fenótipo da isoenzima esterase foi determinada utilizando a metodologia proposta por Carneiro & Almeida (2001).

O inóculo foi mantido em cultura pura e multiplicado em plantas de tomateiros (*Solanum lycopersicum* L.) cv. "Santa Clara, cultivadas em caixas de polietileno com capacidade de 250 L, contendo substrato em condições nutricionais e hídricas adequadas ao desenvolvimento das plantas. A multiplicação do nematoide foi realizada no Centro de Ciências

e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus de Pombal-PB, permanecendo nessas condições até o início dos experimentos.

3.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido entre os meses de julho e outubro de 2025, em delineamento inteiramente casualizado, com dez tratamentos correspondentes a diferentes concentrações de ácido salicílico (0,0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 mM), distribuídos em cinco repetições aplicadas em uma planta por parcela experimental. Utilizou-se a cultivar de pimentão (*Capsicum annuum* L.) "Cascadura Ikeda" (Topseed®).

As mudas foram produzidas em bandeja de polietileno expandido com 128 células, utilizando substrato comercial (Bioplant®) (Figura 2). Vinte dias após a semeadura, as mudas foram transplantadas para vasos com capacidade de 5 dm³, dispostos sobre tijolos e preenchidos com substrato composto por solo, areia e esterco bovino, na proporção de 3:1:1 (v:v:v). O substrato foi previamente esterilizado em autoclave a 120 ºC, sob pressão de 1 atm, durante uma hora.



Figura 2. Produção de mudas de pimentão em bandejas para transplantio em vasos.

A irrigação foi realizada duas vezes ao dia, mantendo a umidade do substrato próxima à capacidade de campo. Antes da instalação do experimento, foi coletada uma amostra do substrato para a análise de fertilidade, realizada no Laboratório de Análises de Solo e Água do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Campus Sousa (Tabela 1).

Tabela 1. Resultado da análise de fertilidade da amostra de substrato utilizada no experimento.

pH	**P**	**K**	Na^{+}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Al^{+3}	$H + Al^{+3}$	**CTC**	**MO**
H_2O	mg/kg^3			$cmolc/dm^3$					$g.kg^{-1}$
6,5	84,3	28,7	0,34	8,1	0,9	0,0	0,0	12,2	32,07

Quatorze dias após o transplantio, foram aplicados os tratamentos correspondentes às diferentes concentrações de ácido salicílico (AS) Figura 3. As soluções foram preparadas utilizando água de torneira e aplicadas diretamente ao solo, ao redor da planta, na dose de 50 mL por vaso. Para evitar contaminação entre tratamentos, utilizou-se um béquer exclusivo para cada concentração. As aplicações foram realizadas a partir das 16h00.



Figura 3. Aplicação dos tratamentos a base de ácido salicílico em diferentes concentrações em plantas de pimentão.

A inoculação com *M. enterolobii* foi realizada oito dias após a aplicação do ácido salicílico. A suspensão de ovos e juvenis foi preparada conforme a metodologia descrita por Coolen e D'Herde (1972). Para isso, plantas de tomateiro previamente infestadas foram coletadas na casa de vegetação, sendo a parte aérea separada do sistema radicular. Após lavagem em água corrente, as raízes foram fragmentadas e submetidas à trituração em liquidificador, por 20 segundos, em baixa rotação, na presença de 300 mL de água contendo solução de hipoclorito de sódio (NaClO) a 0,5%.

A suspensão obtida foi filtrada em peneiras de 20 e 400 mesh. Os fragmentos radiculares retidos na peneira de 20 mesh foram descartados. O material retido na peneira de 400 mesh foi cuidadosamente lavado com água para remoção do hipoclorito de sódio e, em seguida, recolhido em béquer. A quantificação dos ovos e juvenis foi realizada em câmara de contagem de Peters, sob microscópio óptico, ajustando-se a concentração da suspensão para 400 ovos e juvenis de segundo estádio (J2) mL^{-1}.

A inoculação foi realizada às 16h00, no mesmo horário da aplicação dos tratamentos, utilizando-se 10 mL da suspensão contendo 400 ovos e juvenis de segundo estádio (J2) mL^{-1}. A suspensão foi distribuída em três orifícios com aproximadamente 2 cm de profundidade,

abertos ao redor de cada planta. Esse procedimento foi adotado em ambos os experimentos (Figura 4).



Figura 4. Inoculação de *Meloidogyne enterolobii* em plantas de pimentão após aplicação dos tratamentos à base de ácido salicílico.

3.4 Parâmetros avaliados

Avaliações das características agronômicas e do parasitismo foram realizadas após 50 dias da inoculação de *M. enterolobii*.

3.4.1 Características agronômicas

Foram avaliadas as seguintes variáveis agronômicas: Altura de plantas (cm): determinada com auxílio de uma régua graduada, medindo-se a distância entre a superfície do solo e o ápice da planta. Após essa etapa, as plantas foram colhidas e encaminhadas ao Laboratório de Fitopatologia para as demais determinações. O sistema radicular foi cuidadosamente lavado para remoção do solo e da matéria orgânica aderida e, em seguida, seco superficialmente com papel absorvente. Sendo então avaliados: fitomassa fresca radicular (g): determinada com o auxílio de balança semi-analítica; comprimento radicular (cm): empregando régua graduada de 50 cm e volume radicular (cm^3): obtido pelo método do deslocamento de água em proveta de 500 mL, após a imersão das raízes, considerando-se um volume inicial de 400 mL (Figura 5).

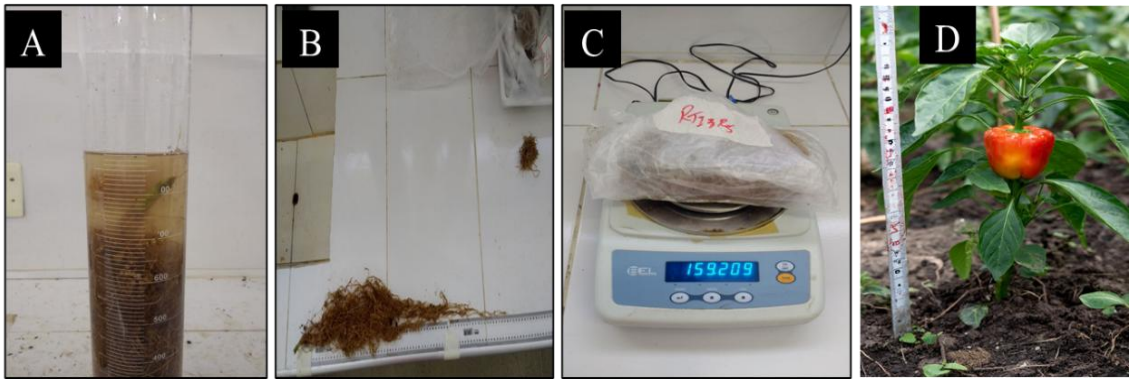


Figura 5. Avaliações de características agronômicas: volume radicular (A), comprimento radicular (B), fitomassa fresca radicular (C) e altura de plantas (D), de pimentão na presença de *Meloidogyne enterolobii*, sob aplicação de ácido salicílico.

3.4.2 Características do parasitismo

Para avaliação do parasitismo dos nematoides, foram avaliadas o número de galhas (NG) e massa de ovos (MO) presente nas raízes das plantas de pimentão.

Inicialmente, as raízes foram imersas por 10 minutos em solução de floxina B (4,0g de fucsina ácida em 250 mL ácido acético e 750 mL de água destilada), conforme Silva et al. (1988), para coloração das massas de ovos dos nematoides. Em seguida, foram lavadas em água corrente para remoção do excesso de corante. As massas de ovos foram quantificadas com auxílio de lupa, enquanto o número de galhas foi determinado a estimativa por contagem direta em microscópio estereoscópico (Figura 6).

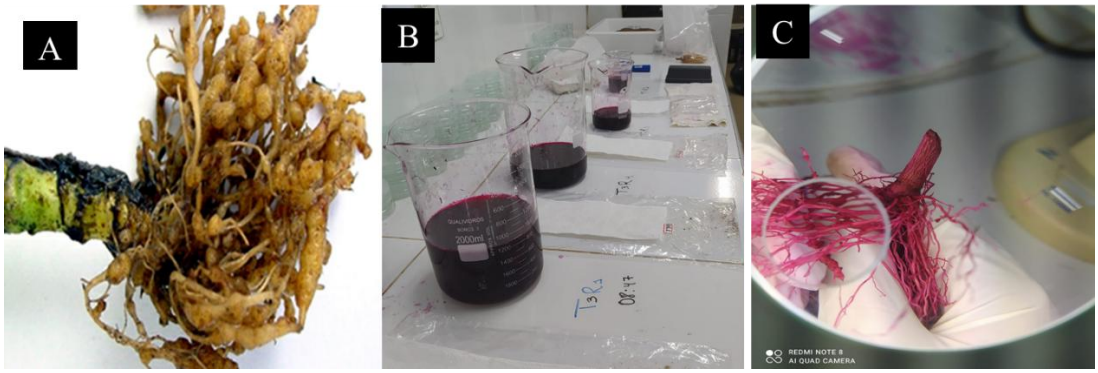


Figura 6. Avaliação do parasitismo: número de galhas (A), solução de floxina B (B) e contagem de massa de ovos (C).

O número de juvenis presentes no solo (JS) de cada tratamento, foi estimado a partir de amostras com 100 cm^3 de solo, utilizando-se a técnica de flutuação e centrifugação em solução de sacarose, conforme Jenkins (1964). Para isso, a amostra de solo de cada tratamento foi

adicionada em béquer de 1 L, onde foi homogeneizada em 500 mL de água e então vertido em peneiras de 20 mesh sobre-posta à outra de 400 mesh. O material retido na peneira de 400 mesh, contendo os nematoides e ovos, foi transferido para tubos de centrifugação (40 mL), centrifugado por quatro minutos a 2000 rpm, logo após, desprezou-se o sobrenadante, substituindo por uma solução de sacarose (450g de açúcar L^{-1}) e novamente centrifugado por um minuto na mesma rotação. Após a remoção do excesso da sacarose por lavagem em água corrente sob peneira de 400 mesh, obteve-se uma alíquota de 10 mL, transferida para tubos de ensaio para efeito de estimativa do número de juvenis do solo em microscópio óptico composto Figura 7.

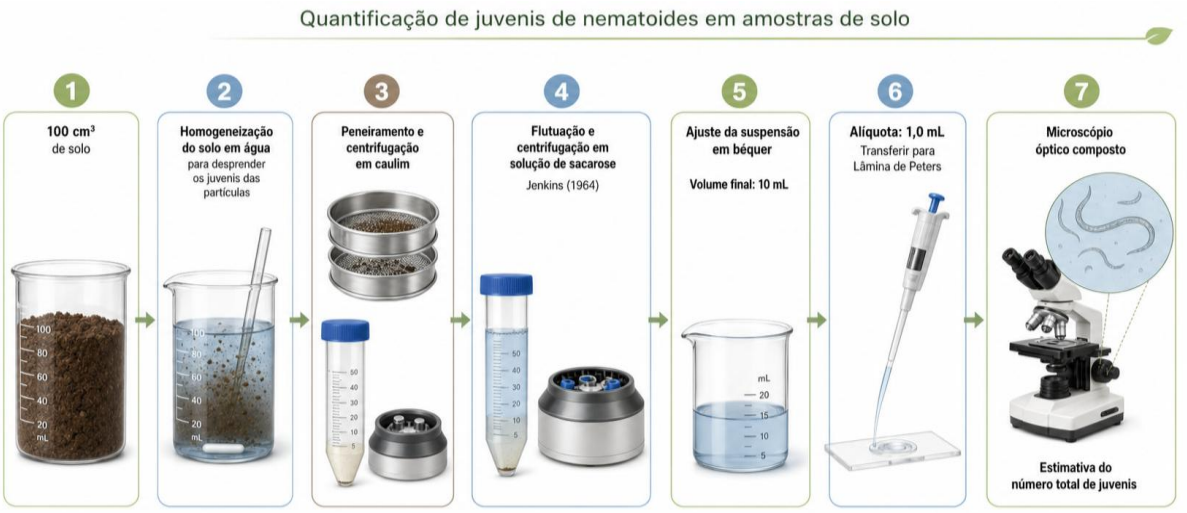


Figura 7. Estimativa do número de juvenis e ovos em amostras de solo (100 cm^3), através da técnica da flutuação e centrifugação em solução de sacarose.

Posteriormente, foram quantificados o número de ovos (OR) e de juvenis presentes nas raízes (JR), conforme a metodologia descrita por Coolen & D'Herde (1972). As raízes foram trituradas em liquidificador doméstico com água, e a suspensão obtida foi submetida ao peneiramento em peneiras de 20 e 400 mesh. O material retido na peneira de 400 mesh foi recuperado, transferido para tubos de centrifugação (40 mL) e centrifugado por quatro minuto a 2000 rpm. Após o descarte do sobrenadante, adicionou-se solução de sacarose, seguida de nova centrifugação por um minuto na mesma rotação. Em seguida, a suspensão foi retida em peneira de 400 mesh, seguida de lavagem com água corrente para remoção do excesso de sacarose e padronizada para um volume de 10 mL. Ao final, uma alíquota de 1 mL foi utilizada para a contagem de ovos e juvenis em câmara de Peters, sobre microscópio óptico com aumento de 40x (Figura 8).



Figura 8. Estimativa do número de juvenis e ovos de *Meloidogyne enterolobii* nas raízes de plantas de pimentão, através da técnica da flutuação e centrifugação em solução de sacarose.

Posteriormente, com base na população total de nematoides extraída das raízes, determinou-se o número de espécimes de nematoides grama de raiz, dividindo-se o número total de ovos e juvenis pela massa fresca do sistema radicular.

A partir das informações das populações do nematoides (ovos/J2) das raízes, foi calculado o fator de reprodução (FR), para cada tratamento, representado pela relação: **FR=Pf/Pi**, onde: **Pf** corresponde à população final de ovos e juvenis recuperados e **Pi** à população inicial inoculada (4000 ovos e juvenis). Conforme Oostenbrink (1996), as plantas foram classificadas como imunes (FR = 0); resistente (FR<1,0) ou suscetível (FR>1,0).

3.5 Análise Estatística

Os dados referentes às características agronômicas e ao parasitismo foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e, posteriormente, à análise de variância (ANOVA), utilizando-se o teste F ($p<0,05$). Quando observados efeitos significativos, as médias das variáveis para os tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p<0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no software "R", versão 3.1.2.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados na Tabela 2, evidenciam o efeito das concentrações de ácido salicílico sobre as características agronômicas de plantas de pimentão inoculadas com *Meloidogyne enterolobii*. Houve diferença significativa apenas para o comprimento radicular (CR), ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, indicando que essa variável foi mais sensível aos tratamentos em comparação às demais.

Segundo Philbrick et al. (2020), *M. enterolobii* apresenta elevada agressividade, promovendo a formação de galhas no sistema radicular, o que compromete diretamente a absorção de água e nutrientes e, consequentemente, reduz o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Nesse contexto, a resposta observada para o comprimento radicular sugere que essa variável pode ser um indicador mais sensível dos efeitos do ácido salicílico sobre a interação entre o hospedeiro e o nematoide.

Tabela 2. Quadrados médios e coeficientes de variação das características agronômicas altura de plantas (AP), massa fresca de raiz (MFR), comprimento radicular (CR) e volume de raiz (VR) de plantas de pimentão submetidas as concentrações de ácido salicílico sob a presença de *Meloidogyne enterolobii*. Pombal-PB, 2026.

		Quadrado Médio			
		[1]Características agronômicas			
FV	**G. L**	**AP (cm)**	**MFR (g)**	**CR (cm)**	**VR (mL)**
Trat.	9	85,38 ^{ns}	132,31^{ns}	0,80**	44,8^{ns}
Resíduo	40	91,21	76,71	0,16	55,02
CV (%)	**-**	**21,68**	**20,24**	**7,14**	**17,62**

** Significativo ao nível de 0,01, pelo teste F. [1]Para análise estatística, os dados foram transformados em log10 (x + 1). Trat. (concentrações de ácido salicílico)

Para a altura de plantas (AP), massa fresca de raiz (MFR) e volume radicular (VR), os valores de quadrados médios dos tratamentos não apresentaram diferenças significativas, sugerindo que, nas condições experimentais, as concentrações de ácido salicílico não promoveram alterações estatisticamente detectáveis nessas variáveis. Esse resultado sugere que o crescimento da parte aérea e parte das características radiculares não responderam de forma diferenciada aos tratamentos aplicados, possivelmente em razão da elevada agressividade do patógeno ou da reduzida sensibilidade dessas variáveis para detectar alterações nesse período de avaliação.

A elevada agressividade e a rápida multiplicação de *M. enterolobii* constituem fatores que podem explicar esse comportamento. Essa espécie apresenta ciclo de vida mais curto em comparação com outros representantes do gênero, favorecendo a rápida colonização das raízes e a intensificação dos danos em um intervalo reduzido de tempo (COLLETT et al., 2024). Esse comportamento pode intensificar os danos radiculares antes que alterações na parte aérea sejam plenamente expressas. As raízes ao serem parasitadas, são comprometidas reduzindo a capacidade de absorção e redistribuição plena dos compostos orgânicos, inviabilizando crescimento e desenvolvimento das plantas.

A ausência de diferenças significativas para altura de plantas (AP), massa fresca de raiz (MFR) e volume radicular (VR) também pode estar relacionada à variabilidade experimental e à própria dinâmica da interação planta-nematoide. Segundo Figueiredo et al. (2020), as alterações fisiológicas decorrentes da infecção por nematoides ocorrem de forma gradual e dependem da intensidade do parasitismo e da capacidade de resposta da planta, podendo não ser detectadas em avaliações realizadas em um único momento.

Além disso, estudos conduzidos em diferentes culturas demonstram o gênero de *Meloidogyne* podem afetar variáveis de crescimento de maneiras distintas. Em cana-de-açúcar, por exemplo, Belle et al. (2024), observaram efeitos significativos em algumas características agronômicas, enquanto outras permaneceram inalteradas, evidenciando que a magnitude da resposta depende tanto da variável avaliada quanto da interação específica planta-patógeno.

Por outro lado, o comprimento radicular (CR) foi a única variável que apresentou efeito significativo dos tratamentos, associado a um coeficiente de variação de apenas 7,14%, valor considerado baixo e indicativo de elevada precisão experimental. Esse resultado demonstra que o comprimento radicular foi mais sensível às condições impostas pelos tratamentos e/ou à infecção por *M. enterolobii*, destacando seu potencial como indicador da intensidade do parasitismo e da eficiência das estratégias de manejo adotadas.

As médias do comprimento radicular de plantas de pimentão sob infestação de *M. enterolobii* (Figura 9) ajustaram-se ao modelo de regressão polinomial quadrática em função das doses de ácido salicílico. A aplicação de ácido salicílico promoveu incremento significativo no comprimento radicular**,** atingindo valor máximo de 62,19% em relação à testemunha não tratada, na dose de 5,66 mM. Esse resultado sugere que, em concentrações moderadas, o ácido salicílico pode atuar como um indutor de resistência sistêmica, estimulando mecanismos de defesa da planta e reduzindo os efeitos deletérios do parasitismo do nematoide sobre o desenvolvimento do sistema radicular.

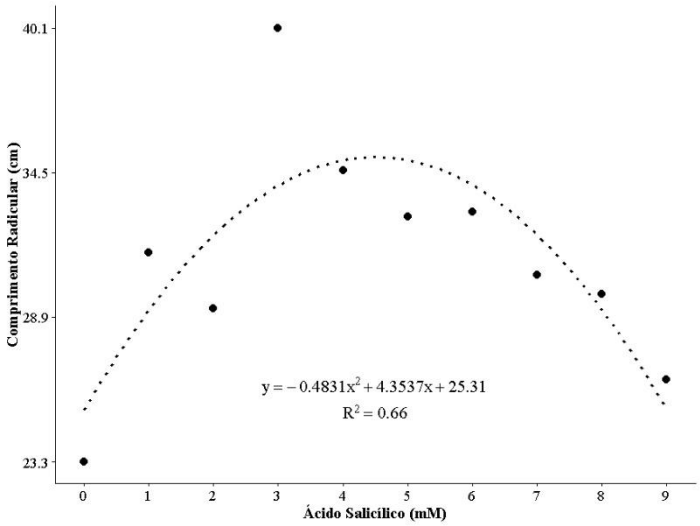


Figura 9. Comprimento radicular de plantas de pimentão sob a presença de *Meloidogyne enterolobbi* em função da aplicação de ácido salicílico.

Esse comportamento é coerente com a natureza dose dependente da ação do ácido salicílico sobre o crescimento radicular. Bagautdinova et al. (2022), ao revisarem respostas do sistema radicular ao ácido salicílico em diferentes espécies vegetais, destacaram que esse fitormônio pode apresentar efeito hormético, estimulando processos de crescimento em faixas adequadas e inibindo o alongamento radicular quando ocorre acúmulo ou aplicação em concentrações elevadas. Assim, o ponto de máximo observado na Figura 9 não deve ser interpretado apenas como resposta de crescimento, mas como possível expressão do equilíbrio entre a ativação da defesa e os custos fisiológicos associados à sinalização do ácido salicílico.

De acordo com Zinovieva et al. (2021), a aplicação de ácido salicílico promove a ativação de mecanismos de defesa em plantas hospedeiras, incluindo o aumento da expressão de inibidores de proteínas, resultando na redução da infecção e do desenvolvimento de nematoides. Esse mecanismo pode explicar o maior comprimento radicular observado nas doses intermediárias do ácido salicílico, uma vez que a redução da atividade parasitária favorece o desenvolvimento do sistema radicular.

Entretanto, concentrações superiores a 5,66 mM promoveram redução progressiva do comprimento radicular, sugerindo a ocorrência de efeitos fitotóxicos ou desequilíbrio fisiológico. Esse comportamento é frequentemente observado em reguladores de crescimento vegetal, cujas doses elevadas podem comprometer processos metabólicos, reduzir a atividade enzimática ou até intensificar o estresse oxidativo, prejudicando o desenvolvimento radicular.

Li et al. (2022) reforçam essa interpretação ao demonstrarem que o ácido salicílico participa diretamente da regulação da divisão e da expansão celular e interage com outras vias hormonais responsáveis pelo crescimento. Dessa forma, a redução do comprimento radicular

após a concentração de máxima resposta pode refletir um equilíbrio entre crescimento e defesa, no qual a intensificação da sinalização de resistência passa a competir com processos metabólicos necessários à expansão dos tecidos. Esse aspecto é particularmente importante neste estudo, pois evidencia que a concentração mais eficiente para reduzir o parasitismo não necessariamente coincide com a concentração que maximiza o crescimento radicular.

Resultados semelhantes foram relatados por Figueiredo et al. (2020), que verificaram que o ácido salicílico não foi capaz de mitigar completamente os efeitos negativos de *M. javanica* sobre parâmetros fisiológicos do tomateiro, especialmente em níveis mais elevados de infestação. Esses autores observaram que o estresse causado pelo nematoide compromete processos fisiológicos como trocas gasosas e eficiência fotossintética, o que pode limitar o crescimento radicular mesmo na presença de ácido salicílico. Esses resultados corroboram com os obtidos no presente estudo e ajudam a explicar a redução do comprimento radicular nas maiores concentrações (Figura 9), sugerindo que concentrações elevadas de ácido salicílico podem não apenas perder eficiência, mas também causar efeitos fitotóxicos ou desequilíbrios fisiológicos, agravando o estresse da planta.

Além disso, a elevada agressividade de *M. enterolobii* também pode contribuir para esse comportamento. De acordo com Feng et al. (2024), essa espécie secreta proteínas efetoras capazes de suprimir vias de sinalização mediadas pelo ácido salicílico, favorecendo o estabelecimento do parasitismo e reduzindo a eficiência das respostas de defesa da planta. Esse padrão reforça a existência de uma concentração ótima de ácido salicílico, na qual os efeitos benéficos são maximizados. No contexto do manejo de *M. enterolobii*, os resultados sugerem que o uso de ácido salicílico pode ser uma estratégia promissora, desde que aplicado em concentrações adequadas, evitando níveis que comprometam o crescimento da planta.

Os resultados apresentados na Tabela 3 evidenciam que a aplicação de ácido salicílico influenciou significativamente todas as variáveis relacionadas ao parasitismo de *M. enterolobii* em plantas de pimentão. A significância observada indica que os tratamentos alteraram a dinâmica da interação planta-nematoide, sugerindo que o ácido salicílico atuou na indução de mecanismos de defesa da planta, reduzindo tanto a infecção quanto a reprodução de *M. enterolobii*.

Os baixos coeficientes de variação observados para todas as variáveis evidenciam boa precisão experimental, conferindo maior confiabilidade aos resultados obtidos. Dessa forma, as diferenças detectadas entre os tratamentos podem ser atribuídas, predominantemente, ao efeito das concentrações de ácido salicílico sobre o parasitismo de *M. enterolobii.*

Tabela 3. Quadrados médios e coeficientes de variação para o número de galhas (NG), juvenis na raiz (JR), ovos na raiz (OR), juvenis no solo (JS), massa de ovos (MO), nematoides por gramas de raiz (N/gr) e fator de reprodução (FR) de plantas de pimentão submetidas à aplicação de ácido salicílico. Pombal-PB, 2026.

Quadrado Médio								
[1]Características de Parasitismo								
FV	G. L	**NG (und)**	**JR (und)**	**OR (und)**	**JS (und)**	**MO (und)**	**N/gr (und)**	**FR**
Trat.	9	049**	3,35**	1,37**	0,68**	0,32**	1,65**	4,9**
Resíduo	40	0,01	0,03	0,016	0,02	0,006	0,02	0,006
CV (%)	**-**	**3,96**	**8,88**	**4,73**	**4,35**	**3,3**	**10,34**	**10,31**

[1]Transformações realizadas: número de ovos e ovos/g de raiz foram transformados. para log (x+1) e fatores de reprodução para log (x), médias apresentadas são as originais sem transformação. Trat. (concentrações de ácido salicílico).

A resposta conjunta das variáveis de parasitismo fortalece a hipótese de uma ação sistêmica do ácido salicílico. Roychowdhury et al. (2024) destacam que a sinalização mediada por esse fitormônio envolve percepção do estresse biótico, reprogramação da expressão gênica e ativação de genes de defesa associados à resistência sistêmica adquirida. Nesse sentido, a redução simultânea de galhas, juvenis, ovos, massa de ovos e fator de reprodução observada neste trabalho é compatível com uma resposta de defesa que atua em diferentes etapas da interação entre a planta e o nematoide, e não apenas sobre um único evento do ciclo parasitário.

Segundo Zinovieva et al. (2021), a aplicação de ácido salicílico em plantas de tomate infectadas por *M. incognita* promove redução significativa da invasão do nematoide, associada ao aumento na expressão de genes relacionados à defesa, como inibidores de proteinases. Esses resultados corroboram os obtidos no presente estudo, indicando que a ativação dos mecanismos de defesa vegetal pode limitar o estabelecimento inicial do patógeno.

Entre as variáveis analisadas, ainda na Tabela 3, o número de galhas e de juvenis nas raízes constituem indicadores diretos do nível de infecção, pois refletem o sucesso do estabelecimento inicial do nematoide no sistema radicular. A redução nesses parâmetros, quando associada ao uso de indutores de resistência, tem sido relatada por Silva et al. (2002), como consequência da ativação de respostas de defesa, interferindo na formação de células gigantes, principalmente no tamanho das galhas, comprometendo o suprimento nutricional do nematoide e reduzindo sua capacidade reprodutiva.

A significância observada para ovos na raiz, massa de ovos e fator de reprodução reforça que o ácido salicílico não apenas interfere na penetração do patógeno, mas também compromete

sua capacidade reprodutiva. O fator de reprodução, em especial, é um dos principais indicadores da eficiência de controle, pois expressa o potencial de multiplicação do nematoide. Valores reduzidos desse parâmetro indicam condições desfavoráveis ao desenvolvimento do patógeno, o que pode estar relacionado à resistência sistêmica adquirida induzida pelo ácido salicílico.

De forma complementar, Figueiredo et al. (2020) observaram que a aplicação de ácido salicílico altera processos fisiológicos em plantas submetidas ao parasitismo por *M. javanica*, influenciando trocas gasosas e metabolismo fotossintético. Embora esses autores tenham relatado que o ácido salicílico não foi suficiente para mitigar completamente os danos causados pelo nematoide, seus resultados reforçam que o componente modifica a interação planta-patógeno, o que pode explicar a redução significativa da massa de ovos e do fator de reprodução observada neste estudo.

Além disso, estudos conduzidos com espécies do gênero *Solanum* demonstram que o ácido salicílico está envolvido na regulação de vias de defesa associadas a espécies reativas de oxigênio e à interação com outros fitormônios, contribuindo para o aumento da resistência contra nematoides (DU et al, 2021). Esse efeito pode explicar a redução simultânea de múltiplos parâmetros de parasitismo observada neste trabalho, incluindo juvenis no solo e nematoides por grama de raiz, indicando impacto tanto na infecção quanto na multiplicação do patógeno.

O efeito da aplicação de ácido salicílico sobre o número de galhas (A) e a massa de ovos (B) de *M. enterolobii* em plantas de pimentão (Figura 10) evidencia respostas distintas, porém complementares, da interação planta-nematoide sob indução de resistência.

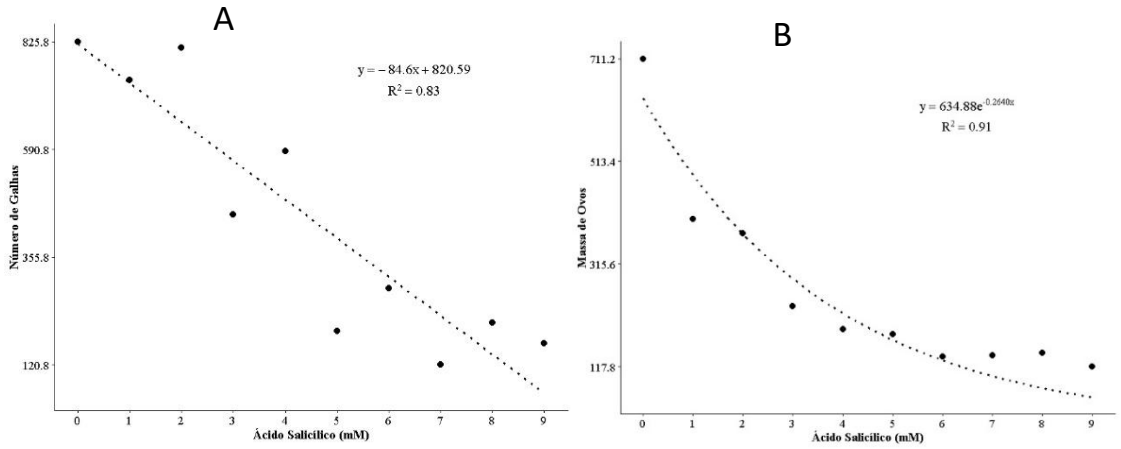


Figura 10. Número de galhas (A) e massa de ovos (B) de *Meloidogyne enterolobii* em plantas de pimentão após aplicação de ácido salicílico.

Ao analisar cada variável isoladamente, observa-se redução linear significativa no número de galhas com o aumento das concentrações de ácido salicílico, atingindo redução

aproximada de 93,8% na dose máxima de 10 mM em relação ao valor estimado na ausência do indutor (Figura 10A). Esse comportamento indica que o ácido salicílico atua de forma consistente na redução da infecção inicial do nematoide, possivelmente por meio da ativação de mecanismos de defesa da planta. A relação linear observada sugere que, dentro da faixa de concentração testada, o efeito do ácido salicílico é proporcional ao aumento da dose, resultando em menor formação de galhas e, consequentemente, menor estabelecimento do patógeno nas raízes.

Segundo Zinovieva et al. (2021), plantas tratadas com ácido salicílico apresentam maior capacidade de limitar o desenvolvimento de nematoides, evidenciando o papel desse composto na indução de resistência sistêmica adquirida. De acordo com Campos (2009), o elicitor ácido salicílico atua como molécula sinalizadora na ativação da síntese de proteínas relacionadas à patogênese (proteínas-RP), incluindo quitinases e β-1,3-glucanases, responsável pela degradação de polissacarídeos estruturais da parede celular, de diversas naturezas parasitárias, prejudicando o desenvolvimento do microrganismo e impedindo seu crescimento (ZAREIE et al. 2002).

Em contrapartida, a massa de ovos (Figura 10B) apresentou comportamento não linear, ajustando-se a um modelo potencial ($R^2 = 0,98$), com redução aproximada de 84% nas menores concentrações e tendência de estabilização nas maiores concentrações. Esse padrão indica que o efeito do ácido salicílico sobre a reprodução do nematoide é mais intenso nas menores concentrações, promovendo rápida redução da oviposição. A estabilização da resposta nas maiores concentrações sugere a existência de um limite fisiológico da planta para a expressão da resistência induzida ou uma adaptação parcial do nematoide às condições impostas.

A forte queda inicial seguida de estabilização também indica que o incremento da dose apresenta retornos decrescentes para essa variável. Do ponto de vista fisiológico, esse padrão pode representar a aproximação de um nível máximo de resposta defensiva induzível pela planta. Pokotylo et al. (2022) discutem que a sinalização por ácido salicílico envolve um balanço entre imunidade e crescimento, de modo que respostas de defesa mais intensas podem impor custos metabólicos sem necessariamente produzir ganhos proporcionais de resistência. Portanto, a estabilização da massa de ovos nas maiores concentrações reforça a necessidade de se considerar simultaneamente a eficiência nematológica e o desempenho da planta na definição de uma dose agronomicamente adequada.

A diferença entre os padrões observados para as duas variáveis sugere que o ácido salicílico interfere em diferentes fases do ciclo biológico de *M. enterolobii*. Enquanto a formação de galhas, relacionada ao estabelecimento inicial do patógeno, responde de forma

proporcional ao aumento das doses, a reprodução apresentou maior sensibilidade às doses mais baixas, com efeito saturante em concentrações mais elevadas.

Estudo recente reforça que a ativação das vias de sinalização mediadas pelo ácido salicílico constitui um dos principais mecanismos envolvidos na resistência de plantas a fitonematoides. A indução dessas vias reduz significativamente a infecção e reprodução dos nematoides, consolidando o ácido salicílico como importante regulador da defesa vegetal e uma estratégia promissora para o manejo desses patógenos (YE et al., 2026).

O número de ovos na raiz (Figura 11A) também apresentou redução expressiva, estimada em aproximadamente 97,2% ao longo do intervalo de concentrações avaliadas. Da mesma forma, o número de juvenis nas raízes (Figura 11B) ajustou-se a um modelo exponencial decrescente, apresentando redução aproximada de 99,7% na maior concentração testada. Em ambos os casos, os elevados coeficientes de determinação ($R^2 = 0,97$ para ovos e $R^2 = 0,92$ para juvenis) evidenciam forte relação entre o aumento da concentração de ácido salicílico e a redução da população do nematoide.

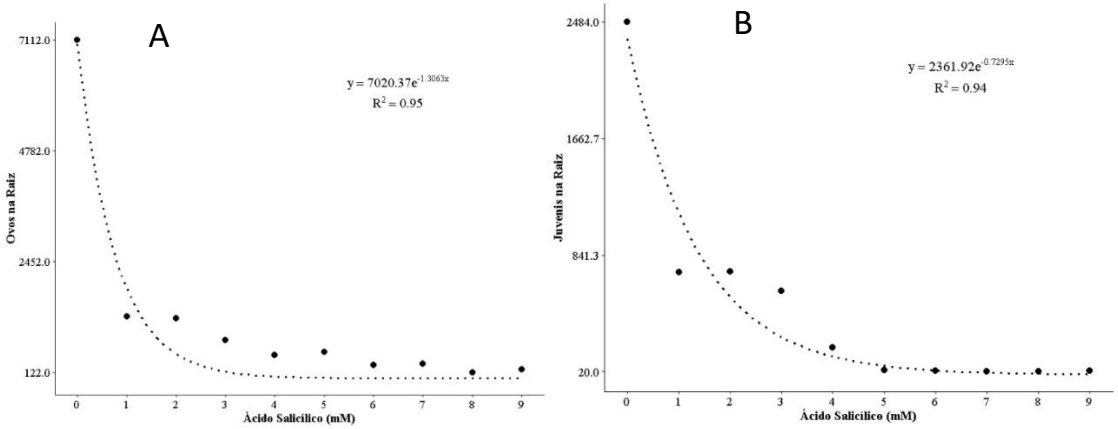


Figura 11. Ovos na raiz (A) e juvenil na raiz (B) de *Meloidogyne enterolobii* em plantas de pimentão após aplicação de ácido salicílico.

Na Figura 11A observa-se queda acentuada no número de ovos nas menores concentrações de ácido salicílico, seguida de estabilização em níveis reduzidos à medida que a concentração aumenta. Esse comportamento sugere que doses relativamente baixas já são suficientes para promover expressiva redução da oviposição, possivelmente em decorrência da ativação de mecanismos de defesa da planta.

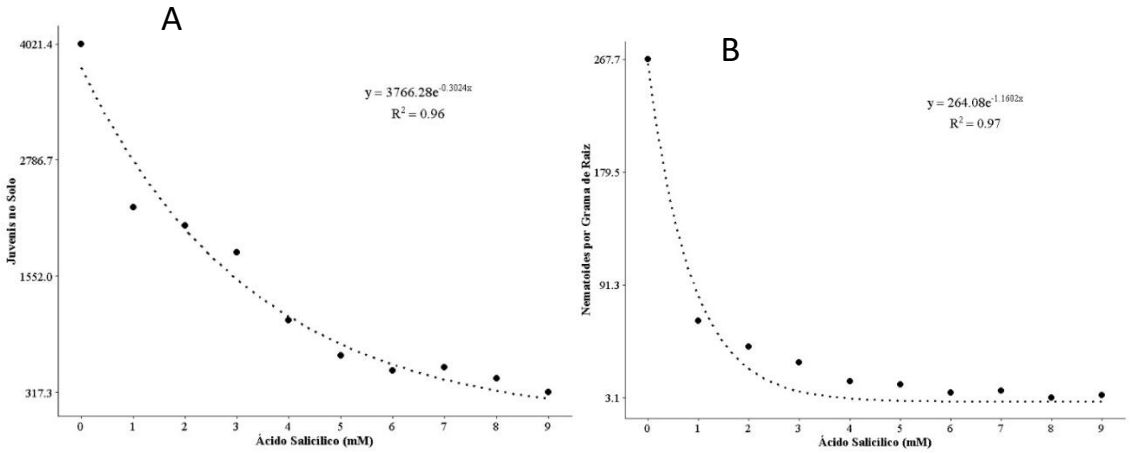
A resposta potencial obtida demonstra que o efeito do ácido salicílico não é proporcional ao aumento da dose, sendo mais eficiente em concentrações mais baixas. Segundo Zinovieva et al. (2021), esse composto atua como molécula sinalizadora na ativação de genes relacionados

à defesa vegetal, incluindo a produção de proteínas inibidoras de proteases e outras substâncias capazes de dificultar a alimentação e o desenvolvimento do nematoide.

Comportamento semelhante foi observado para o número de juvenis nas raízes (Figura 11B), que diminuiu exponencialmente com o aumento das concentrações de ácido salicílico. Esse resultado sugere que o ácido salicílico pode interferir tanto na eclosão dos ovos quanto na sobrevivência ou penetração dos juvenis no sistema radicular. A maior redução observada nas menores concentrações reforça a hipótese de que o ácido salicílico atua como indutor de resistência sistêmica adquirida, tornando o ambiente radicular menos favorável ao desenvolvimento do nematoide. Degroote et al. (2024) demonstraram que a ativação dessa via de defesa intensifica respostas fisiológicas e bioquímicas capazes de reduzir significativamente a infecção por espécies do gênero *Meloidogyne*.

Philbrick et al. (2020) destacam que a redução simultânea das populações de ovos e juvenis indica que o ácido salicílico não apenas limita a reprodução, mas também impacta diferentes estágios do ciclo de vida do patógeno. Esse efeito integrado é altamente desejável no manejo de fitonematoides, pois contribui para reduzir a população ao longo do tempo. Considerando a elevada agressividade de *M. enterolobii*, os resultados obtidos evidenciam o potencial do ácido salicílico como estratégia promissora no manejo desse fitonematoide.

A Figura 12 evidencia de forma clara o efeito do ácido salicílico na supressão de *M. enterolobii* em plantas de pimentão, demonstrando uma relação inversa consistente entre o aumento da concentração do composto e as variáveis relacionadas ao parasitismo.



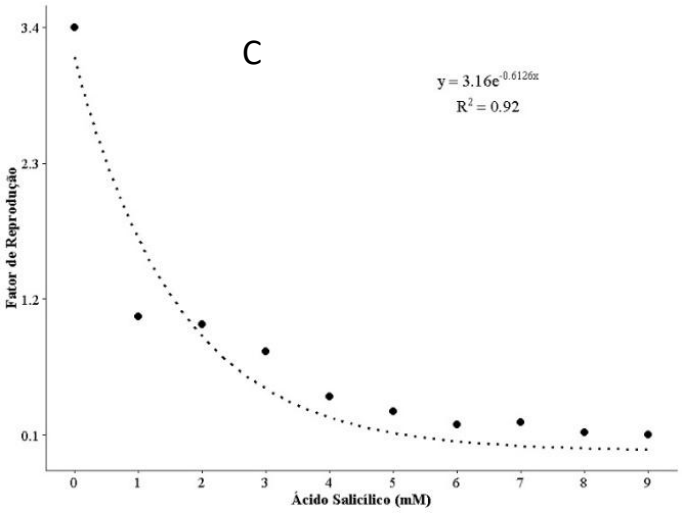


Figura 12. Juvenil no solo (A), nematoides por grama de raiz (B) e fator de reprodução de *Meloidogyne enterolobii* em plantas de pimentão, após aplicação de ácido salicílico.

Para a variável juvenil no solo (Figura 12A), observa-se uma redução acentuada na população de juvenis à medida que aumenta a concentração de ácido salicílico. O ajuste do modelo potencial ($R^2 = 0,91$) indica forte correlação entre as variáveis, sugerindo que o ácido salicílico interfere diretamente na dinâmica populacional do nematoide no solo. Essa redução pode estar relacionada tanto à indução de mecanismos de resistência na planta quanto à menor capacidade de estabelecimento e reprodução do patógeno. Resultados semelhantes foram observados por Degroote et al. (2024), onde demonstraram que compostos naturais, incluindo ácido salicílico em combinação com outros extratos, podem atuar tanto como indutores de resistência quanto como agentes nematicidas, promovendo redução significativa da população de *M. incognita*.

Para a variável nematoides por grama de raiz (Figura 12B), também foi observada redução expressiva com o aumento das doses, ajustando-se a um modelo exponencial decrescente ($R^2 = 0,81$). Esse comportamento indica que o ácido salicílico atua limitando a penetração e/ou o desenvolvimento do nematoide no interior das raízes. A redução da densidade populacional nas raízes sugere a ativação de respostas de defesa, incluindo reações de hipersensibilidade e resistência sistêmica adquirida. Fu e Dong (2013) relatam que, durante o ataque de patógenos, ocorre a conversão de formas conjugadas de ácido salicílico em sua forma biologicamente ativa, desencadeando uma série de respostas de defesa vegetal.

O fator de reprodução (Figura 12 C) apresentou a resposta mais expressiva, com uma redução progressiva à medida que aumentaram as concentrações de ácido salicílico. Em concentrações mais elevadas (8-10 mM), o fator de reprodução aproxima-se de valores inferiores a 1, indicando que a população do nematoide não consegue se manter ao longo do

tempo. Esse resultado é particularmente relevante, pois demonstra o potencial do ácido salicílico não apenas em reduzir a infestação inicial, mas também em comprometer o ciclo reprodutivo de *M. enterolobii*. Considerando que a capacidade reprodutiva desse nematoide depende da manipulação do metabolismo da planta hospedeira, a ativação das respostas de defesa induzidas pelo ácido salicílico pode limitar significativamente esse processo.

Segundo Resende et al. (2000), o ácido salicílico promove a ativação de genes que codificam proteínas-RP e enzimas relacionadas diretamente com a produção de fitoalexinas e ligninas, fortalecendo as barreiras de defesa da planta e dificultando a estabilidade do patógeno no solo, próximo às plantas, assim como dificulta a infecção das raízes, respectivamente. Além disso, Feng et al. (2024) demonstraram que *M. enterolobii* depende da manipulação de vias metabólicas da planta para o sucesso do parasitismo, sugerindo que o ácido salicílico interfira nesse processo, reduzindo a formação de galhas, a produção de ovos e juvenis e, consequentemente, o potencial de multiplicação do nematoide.

A indução exógena de resistência em plantas contra fitonematoides constitui uma alternativa promissora para o manejo fitossanitário sustentável, uma vez que reduz a dependência de nematicidas químicos e seus impactos ambientais. Contudo, essa tecnologia ainda se encontra em estágio inicial de desenvolvimento quando comparada ao volume de estudos dedicados a fungos fitopatogênicos. Diante disso, faz-se necessária a ampliação de pesquisas que avaliem respostas diferenciais em distintas culturas agronômicas frente à inoculação com diferentes espécies de nematoides. A elucidação desses mecanismos é fundamental para a validação da técnica em condições de campo e para o desenvolvimento de protocolos de aplicação viáveis agronomicamente.

De forma geral, as Figuras 9 a 12 revelam um aspecto enquanto o crescimento radicular apresentou resposta quadrática, com melhor desempenho em concentração intermediária, as variáveis de parasitismo diminuíram de forma contínua ou apresentaram forte redução já nas menores concentrações. Essa divergência evidencia que a escolha da concentração de ácido salicílico para fins de manejo deve considerar o equilíbrio entre supressão do nematoide e manutenção do crescimento vegetal. Assim, concentrações intermediárias podem representar uma faixa biologicamente interessante por combinar estímulo ao sistema radicular com redução expressiva do parasitismo, enquanto doses mais elevadas, embora mais eficientes para algumas variáveis nematológicas, podem ampliar o custo fisiológico da indução de defesa.

5. CONCLUSÕES

O ácido salicílico modulou a interação entre plantas de pimentão e *Meloidogyne enterolobii*, reduzindo o parasitismo do nematoide e evidenciando seu potencial como indutor de resistência.

O efeito sobre o desenvolvimento das plantas foi dependente da concentração aplicada, sendo observada resposta favorável no comprimento radicular em concentração intermediária (≈5,66 mM), enquanto concentrações mais elevadas promoveram redução dessa variável, sugerindo possível efeito fitotóxico.

O ácido salicílico apresenta-se como uma estratégia promissora para o manejo de *M. enterolobii* em pimentão, desde que utilizado em concentrações adequadas, capazes de favorecer os mecanismos de resistência sem comprometer o crescimento das plantas.

Os resultados reforçam a necessidade de determinar uma faixa de concentração que proporcione o equilíbrio entre a indução de resistência, a redução do parasitismo e a manutenção do desempenho agronômico da cultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, J.; LIMA, G. S.; LIMA, V. L. A.; SILVA, A. A. R.; SANTOS, L. F. S.; DIAS, M. S.; ARRUDA, T. F. L.; SOUZA, A. R.; SOARES, L. A. A. Hydrogen peroxide in the mitigation of salt stress in bell pepper. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 44, n. 1, p. 217-236, 2023.

BAGAUTDINOVA, Z. Z.; OMELYANCHUK, N.; TYAPKIN, A. V.; KOVRIZHNYKH, V. V.; LAVREKHA, V. V.; ZEMLYANSKAYA, E. V. Salicylic acid in root growth and development. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 4, p. 2228, 2022.

BELLE, C.; MOCCELLIN, R.; HAUBERT, M.; DOS ANJOS E SILVA, S. D.; GOMES, C. B. Impact of different *Meloidogyne* species on the development of sugarcane plants. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, n. 1, p. e20200004, 2024.

BELTRÃO, K. I.; CAMARANO, A. A.; MELLO, J. L. **Mudanças nas condições de vida dos idosos rurais brasileiros: resultados não-esperados dos avanços da seguridade rural**. 2005.

CAMPOS, A. D. Considerações sobre indução de resistência a patógenos em plantas. Brasília: Embrapa. p. 28, 2009.

CARNEIRO, R.M.D.G; ALMEIDA, M.R.A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematóides de galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, v. 25, p. 35-44, 2001.

CARRILLO-FASIO, J.A.; MARTÍNEZ-GALLARDO; AYALA-TAFOYA, F.; LÓPEZ-ORONA, C.A.; ALLENDE-MOLAR, R.; RETES-MANJARREZ, J.E. Screening for resistence to *Meloidogyne enterolobii* in *Capsicum annuum* landraces from Mexico. **Plant Disease**. 2020. 104:817-822. http://doi.org/10.1094/PDIS-04-19-0718-RE

CASTRO, J. M. C.; *Meloidogyne enterolobii* e sua evolução nos cultivos brasileiros. **Informe Agropecuário**, v. 40, n. 306, p.41-48, 2019.

COLLANGE, B.; NAVARRETE, M.; PEYRE, G.; MATEILLE, T.; TCHAMITCHIAN, M. Root-knot nematode et al. Root-knot nematode (*Meloidogyne*) management in vegetable crop production: The challenge of an agronomic system analysis. **Crop protection**, v. 30, n. 10, p. 1251-1262, 2011.

COLLETT, R. L.; RASHIDIFARD, M.; MARAIS, M.; DANEEL, M.; FOURIE, H. Insights into the life-cycle development of *Meloidogyne enterolobii*, *M. incognita* and *M. javanica* on tomato, soybean and maize. **European Journal of Plant Pathology**, v. 168, n. 1, p. 137-146, 2024.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Ghent: State Nematology and Entomology Research Station, 1972.

DEGROOTE, E. SCHOORENS, C., POCKELÉ, S., STOJILKOVIĆ, B., DEMEESTERE, K., MANGELINCKX, S., & KYNDT, T. A combination of plant-based compounds and extracts acts nematicidal and induces resistance against *Meloidogyne incognita* in tomato. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1411825, 2024.

DEVI, J.; SAGAR, V.; KASWAN, V.; RANJAN, J. K.; KUMAR, R.; MISHRA, G. P.; DUBEY, R. K.; VERMA, R. K. Avanços em estratégias de melhoramento de pimentão (*Capsicum annuum* L. var. *grossum* Sendt.). Em: **Avanços em Estratégias de Melhoramento de Plantas: Hortaliças:** Volume 9: Frutos e Brotos Jovens. Cham: Springer International Publishing, p. 3-58, 2021.

DU, C.; SHEN, F.; LI, Y.; ZHAO, Z.; XU, X.; JIANG, J.; LI, J. Effects of salicylic acid, jasmonic acid and reactive oxygen species on the resistance of Solanum peruvianum to *Meloidogyne incognita*. **Scientia Horticulturae**, v. 275, p. 109649, 2021.

EISENBACK, J. D.; HRISCHMANN, H.; SASSER, J. N.; TRIANTAPHYLLOU, A. C. **A guide to the four most common species of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.), with a pictorial key**. Washington, DC, USA: State University, Depto. of Plant Pathology, 1981.

ELDEEB, AH. M.; FARAG, AH. A. GH.; AL-HARBI, M. S.; KESBA, H.; SAYED, S.; ELESAWY, AH. E.; HENDAWI, M. A.; MOSTAFA, EL. M.; AIOUB, AH. A. A. Controlling of *Meloidgyne incognita* (Tylenchida: Heteroderidae) using nematicides, Linum usitatissimum extract and certain organic acids on four peppers cultivars under greenhouse conditions. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 5, p. 3107-3113, 2022.

EMBRAPA. **Nematóide-das-galhas (*Meloidogyne* spp.) em pimentão**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2016. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1059187

FANG, X.; XIE, Y.; YUAN, Y.; LONG, Q.; ZHANG, L. et al. The role of salicylic acid in plant defense responses against biotic stresses. **Plant Hormones**, v. 1, e004, 2025.

FENG, T.; CHEN, Y.; LI, Z.; PEI, J.; PENG, D.; PENG, H.; LONG, H. A novel chorismate mutase effector secreted from root-knot nematode *Meloidogyne enterolobii* manipulates plant immunity to promote parasitism. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 23, n. 12, p. 4107-4119, 2024.

FERREIRA, D. P. S.; MARTINS, I. C. Adubação do pimentão (*Capsicum annuum*) com a manipueira e seus efeitos: uma revisão. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 9, p. 1508-1521, 2021.

FIGUEIREDO, F. R. A.; NÓBREGA, J. S.; RIBEIRO, J. E. S.; SILVA, T. I.; ALBUQUERQUE, M. B.; PODESTÁ, G. S.; NASCIMENTO, L. C.; CORRÊA, É. B. Physiological changes in *Solanum lycopersicum* L. in the presence of root-knot nematodes and salicylic acid. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 6, 2020.

FRANCZUK, J.; TARTANO, M.; ROSA, R.; ZANIEWICZ-BAJKOWSKA, A.; DĘBSKI, H.; ANDREJIOVÁ, A.; DYDIV, A. O efeito dos fungos micorrizas e de vários níveis de fertilizantes minerais no crescimento, rendimento e valor nutricional do pimentão (*Capsicum annuum* L.). ***Agriculture***, v. 13, n. 4, p. 857, 2023.

FU Z.Q., DONG X. Systemic acquired resistance: Turning local infection into global defense. **Annual Review of Plant Biology**. 2013

IBGE. **Produção de Pimentão**. 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pimentao/br

JENKINS, W. R. **A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil**. 1964.

KAYA, C.; UGURLAR, F.; ASHRAF, M.; AHMAD, P. Salicylic acid interacts with other plant growth regulators and signal molecules in response to stressful environments in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 196, p. 431-443, 2023.

KHAN, A.; HARIS, M.; HUSSAIN, T.; KHAN, A. A.; LAASLI, S.-E.; LAHLALI, R.; MOKRINI, F. Counter-attack of biocontrol agents: environmentally benign approaches against

root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) on agricultural crops. **Heliyon**, v. 9, n. 11, e21653, 2023.

KHANAL, C.; MCGAWLEY, E.C.; OVERSTREET, C.; STETINA, S.R. The elusive search for reniform nematode resistance in cotton. **Phytopathology**. v. 108, p.532-541, 2018.

KIMATI, H., AMORIM, L., BERGAMIN FILHO, A., CAMARGO, L. E. A., & REZENDE, J. A. M. Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. 4. Ed. – São Paulo: **Agronômica Ceres**. v. 2, 2005.

KUMAR, D. Salicylic acid signaling in disease resistance. **Plant Science**, v. 228, p. 127-134, 2014.

LAI, Y.; LI, ZH.; LI, ER.; LIU, R.; CHANG, NV.; LU, CH.; LU, C.; LIN, J.; ZHANG, X.; YANG, SH.; CHEN, ZH.; YANG, Y.; LI. Y.; XIE, B. NG.; MAO, ZH.; ZHAO, J. Identification of genes involved in the tomato Mi-1-mediated immunity to root-knot nematodes parasitism under high temperature. **Horticultural Plant Journal**, 2025.

LI, A.; SUN, X.; LIU, L. Action of salicylic acid on plant growth. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 878076, 2022.

MARQUES, M.L.S.; JESUS, J.M.I; ARAÚJO, I.; CARNEIRO, R.G.S.; ROCHA, M.R. Histological and Cytological Responses of Genotypes From *Capsicum* spp. to *Meloidogyne enterolobii*. **Journal of Phytopathology**. 2026. 174:e70226. https://doi.org/10.1111/jph.70226

MARQUES, M.L.S.; OLIVEIRA, M.F.; PEREIRA, P.S.; ROCHA, M.R. Penetration and development of *Meloidogyne enterolobii* in resistant and susceptible *Capsicum* spp. **European Journal of Horticultural Science**. V. 85, n.2, p.86-91, 2020.

MARTINUZ, A.; SIKORA, R.A.; VILCHEZ, S.; SCHOUTEN, A. The role of salicylic and jasmonic acid in the induction of resistance in Arabidopsis thaliana against *Meloidogyne incognita*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, p. 102943, 2025.

MISHRA, S.; ROYCHOWDHURY, R.; RAY, S.; HADA, A.; KUMAR, A.; SARKER, U.; AFTAB, T.; DAS, R. Salicylic acid (SA)-mediated plant immunity against biotic stresses: an insight on molecular components and signaling mechanism. **Plant Stress**, v. 11, p. 100427, 2024.

MOLINARI, S. Ativação da resistência sistêmica adquirida em culturas solanáceas como estratégia de manejo contra nematoides das galhas. **Pest. Manag. Sci.**, v. 72, p. 888-896, 2016. https://doi.org/10.1002/ps.4063

MOLINARI, S.; FANELLI, E.; LEONETTI, P. Expressão de genes responsivos ao ácido salicílico (AS) em tomates genes relacionados à patogênese em Mi-1-mediadas e induzidas por AS resistências a nematoides das galhas. **Patologia Molecular De Pla**, v. 15, p. 255-264, 2014. https://doi.org/10.1111/mpp.12085

MOSLEMI, F.; FATEMY, S.; BERNARD, F. Inhibitory effects of salicylic acid on *Meloidogyne javanica* reproduction in tomato plants. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 1, p. e1001-e1001, 2016.

PEDROSO, M. T. M.; FERREIRA, Z. R. Caracterização dos polos de produção e de produtores de pimentão no Brasil. **Embrapa Hortaliças**, Brasília, DF 2023.

PHILBRICK, A. N.; ADHIKARI, T. B.; LOUWS, F. J.; GORNY, A. M. *Meloidogyne enterolobii*, a major threat to tomato production: current status and future prospects for its management. **Frontiers in plant science**, v. 11, p. 606395, 2020.

POKOTYLO, I.; HODGES, M.; KRAVETS, V.; RUELLAND, E. A ménage à trois: salicylic acid, growth inhibition, and immunity. **Trends in plant science**, v. 27, n. 5, p. 460-471, 2022.

PUTTAWONG, K.; BEESA, N.; KASEM, S.; JINDAPUNNAPAT, K.; CHINNASRI, B.; SASNARUKKIT, A. Potential of *Bacillus* spp. against root-knot nematode, *Meloidogyne enterolobii* parasitizing chili (*Capsicum annuum* L.). **Crop Protection**, v. 184, p. 106780, 2024.

RESENDE, M.L.V., NOJOSA, G.B.A., AGUILAR, M.A.G., SILVA, L.H.C.P., NIELLA, G.R., CARVALHO, G.A., GIOVANINI, G.R. & CASTRO, R.M. Perspectivas da indução de resistência em cacaueiro contra *Crinipellis perniciosa* através do benzoatiazole (BTH). **Fitopatologia Brasileira** 25:149-156. 2000.

ROYCHOWDHURY, R.; MISHRA, S.; ANAND, G.; DALAL, D.; GUPTA, R.; KUMAR, A.; GUPTA, R. Decoding the molecular mechanism underlying salicylic acid (SA)-mediated plant immunity: an integrated overview from its biosynthesis to the mode of action. **Physiologia plantarum**, v. 176, n. 3, p. e14399, 2024.

SHAHID, M.; SHAFI, Z. Multi-omics and molecular engineering insights into Pseudomonas spp.-mediated biocontrol of root-knot nematodes: An updated perspective. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, p. 102972, 2025.

SHI, M.; LIU, R.; MADHUSANKA, D.U.N.; LIU, Y.; LUO, N.; GUO, W.; ZHAO, J.; LI, H.; MAO, Z. Emerging Threat of Meloidogyne enterolobii: Pathogenicity Mechanisms and Sustainable Management Strategies in the Context of Global Change. **Microbiology Research**. 2025, 16, 165. https://doi.org/10.3390/microbiolres16080165

SIKANDAR, A.; WU, F.; HE, H.; ULLAH, R. M. K.; WU, H. Growth, physiological, and biochemical variations in tomatoes after infection with different density levels of *Meloidogyne enterolobii*. **Plants**, v. 13, n. 2, p. 293, 2024.

SILVA, G. S.; SANTOS, J. M.; FERRAZ, S. **Novo método de coloração de ootecas de *Meloidogyne* sp**. In: Congresso Brasileiro de Nematologia, 12, 1988, Dourados. Resumos... Dourados, MS, p. 7, 1988.

SILVA, L. P.; OLIVEIRA, A. C.; ALVES, N. F.; SILVA, V. L.; SILVA, T. I. Uso de substratos alternativos na produção de mudas de pimenta e pimentão. In: **Colloquium Agrariae.** p. 104-115, 2019.

SILVA, L.H.C.P.; CAMPOS, J.R.; CAMPOS, V.P.; DUTRA, M.R. Época de aplicação do acibenzolar-S-metil e da abamectina no controle de *Meloidogyne* sp. em tomateiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p.194, 2002.

TAYLOR, D. P.; NETSCHER, C**. An improved technique for preparing perineal patterns of Meloidogyne spp**. 1974.

TOMAR, P.; THAKUR, D.; KAMTA, S.; SHARMA, S.; NEGI, Y.; KAUR, N.; YADAV, A. N. Integrating plant defense responses in managing nematode threats for agricultural sustainability: A review. **Journal of Natural Pesticide Research**, v. 15, p. 100174, 2026.

ULLAH, C.; CHEN, Y.-H.; ORTEGA, M. A.; TSAI, C.-J. The diversity of salicylic acid biosynthesis and defense signaling in plants: knowledge gaps and future opportunities. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 72, p. 102349, 2023.

VARGAS, M. D.; SEABRA JÚNIOR, S.; OLIVEIRA, K. C. L.; RUIZ, C. G. L. Análise socioeconômica hortícola na comunidade Vale do Sol II em Tangará da Serra–MT. **Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento**, v. 12, n. 2, p. 55-74, 2018.

WU, C.; WANG, Y.; CHEN, Y.; WU, H. Effective management of *Meloidogyne enterolobii* using anaerobic soil disinfection technique. **Scientia Horticulturae**, v. 332, p. 113215, 2024.

XIN, K.; WU, Y.; UL IKRAM, A.; JING, Y.; LIU, S.; ZHANG, Y.; CHEN, J. Salicylic acid cooperates with different small molecules to control biotic and abiotic stress responses. **Journal of plant physiology**, v. 304, p. 154406, 2025.

YE, S.; XIANG, C.; LUO, B.; ZHANG, R.; WANG, Y.; CHEN, J.; YANG, Z.; DING, Z. Volatile organic compounds of Enterobacter asburiae SA-9 suppress *Meloidogyne graminicola* in Rice via multiple mechanisms. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, p. 106955, 2026.

ZAREIE, R.; MELANSON, D.L.; MURPHY, P.J. Isolation of fungal cell wall degrading proteins from barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves infected with *Rhynchosporium secalis*. **Molecular Plant-Microbe Interact**, v. 15 p. 1031-1039, 2002.

ZINOVIEVA, S. V.; UDALOVA, Z. V.; SEIML-BUCHINGER, V. V.; KHASANOV, F. K. Expressão gênica de inibidores de protease em plantas de tomate infestadas pelo nematoide das galhas *Meloidogyne incognita* e modulação de sua atividade com ácidos salicílico e jasmônico. **Biol Bull Russ Acad Sci**. v. 48, p. 130–139, 2021.

ZOU, J.; KYNDT, T.; YU, J.; ZHOU, J. Plant-nematode battle: engagement of complex signaling network. **Trends in Parasitology**, v. 40, n. 9, p. 846-857, 2024.