NÁRCYA TRINDADE DE SOUZA

INTERAÇÃO DE *Macrophomina phaseolina* COM SEMENTES DE FEIJÃO-COMUM

LAVRAS – MG
2025

NÁRCYA TRINDADE DE SOUZA

INTERAÇÃO DE *Macrophomina phaseolina* COM SEMENTES DE FEIJÃO-COMUM

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitopatologia, na linha de pesquisa de Patologia de Sementes, para a obtenção do título de Mestre.

Profª. Dra. Carolina da Silva Siqueira

Orientadora

Prof. Dr. José da Cruz Machado

Coorientador

LAVRAS – MG
2025

Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Souza, Nárcya Trindade de.
Interação de Macrophomina phaseolina com sementes de feijão-comum / Nárcya Trindade de Souza. - 2025.
52 p.

Orientadora: Carolina da Silva Siqueira
Coorientador: José da Cruz Machado

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. Microescleródios . 2. Patologia de Sementes. 3. Phaseolus vulgaris . 4. Podridão do carvão . I. Siqueira, Carolina da Silva. II. Machado, José da Cruz. III. Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

NÁRCYA TRINDADE DE SOUZA

INTERAÇÃO DE *Macrophomina phaseolina* COM SEMENTES DE FEIJÃO-COMUM

INTERACTION OF *Macrophomina phaseolina* WITH COMMON BEAN SEEDS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitopatologia, na linha de pesquisa de Patologia de Sementes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de julho de 2025.

Prof. Dr. José da cruz Machado UFLA

Profa. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos UFLA

Dra. Tharyn Reichel EPAMIG

gov.br Documento assinado digitalmente
CAROLINA DA SILVA SIQUEIRA
Data: 22/10/2025 19:53:07-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Carolina da Silva Siqueira

Orientadora

Prof. Dr. José da Cruz Machado

Coorientador

LAVRAS – MG
2025

In memoriam, a minha mãe, Maria Helena,
que sob muito sol, fez-me chegar até aqui,
na sombra. Tudo sempre será graças a você
e por você que, embora tenha partido,
deixou um legado de amor, bondade e
sabedoria que continua a me guiar.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por mais esta conquista, por Sua constante presença, por jamais me desamparar e por guiar meus caminhos, mesmo quando minha fé se enfraqueceu.

A minha orientadora e amiga, Carolina Siqueira, pelos inúmeros ensinamentos acadêmicos, profissionais e pessoais, e por todas as conversas e rotinas compartilhadas ao longo desta jornada.

Ao professor José da Cruz Machado, por sua presença marcante e essencial. Seus ensinamentos ultrapassam a sala de aula e serão levadas para vida.

A Universidade Federal de Lavras, ao programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, a todos os professores e todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a minha formação.

A minha família, Los Souzas, por todo apoio incondicional. Em especial, à minha tia Nazaré de Souza, pelo cuidado incansável e por todo amparo ao longo desse período, sempre pronta para ajudar seja qual fosse a minha necessidade, assumindo responsabilidades que não eram suas. Ao meu irmão Nayck Trindade, por caminhar comigo e me apoiar em cada etapa.

Ao meu pai, Clizomar José, que mesmo sem compreender por completo este universo acadêmico e todas as minhas escolhas, nunca mediu esforços para me ver chegar onde eu sonhava. Nada disso teria sido possível sem você. Obrigada por acreditar em mim, por investir nos meus sonhos com confiança e fidelidade.

Ao Otávio José por toda parceria, suporte, paciência, apoio e pelas renúncias feitas ao longo desses dois anos para que eu pudesse alcançar este objetivo. Sua presença foi fundamental e fez diferença, sou grata por termos vivido tudo isso juntos.

Aos companheiros do LAPS, Fernanda Zupo, Isabela Araújo, Lucas Costa, Islayne Franco, Augusto Freitas, Guilherme Foschetti e Tomáz Costa pela convivência, amizade e ajuda. Em especial ao meu amigo João Vitor da Silva, sua presença, apoio e companheirismo foram essenciais em durante essa jornada.

Ao meu amigo Vinicius de Amaral, por toda ajuda prestada, seja na montagem dos experimentos, nas conversas ou nas fases de transição.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

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

(Santa Teresa de Ávila)

RESUMO

A produção de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) possui grande importância econômica e social no Brasil, porém a sanidade das sementes representa fator limitante à produtividade. Dentre os patógenos associados, destaca-se *Macrophomina phaseolina*, agente causal da podridão do carvão, capaz de infectar diversas espécies, podendo ser transmitido por sementes ou microescleródios, estruturas de resistência presentes no solo e em restos culturais, que dificultam a erradicação do patógeno. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de *M. phaseolina* em sementes de feijão e determinar a taxa de transmissão deste patógeno a partir de sementes para a progênie. Para isso, sementes da cultivar TAA-DAMA foram inoculadas com dois isolados do patógeno, CMLAPS859 e CMLAPS860, por períodos de 24, 48, 72 e 96 horas, correspondendo aos níveis de inóculo NI24, NI48, NI72 e NI96. As avaliações foram conduzidas em laboratório para os testes de germinação, sanidade, condutividade elétrica e em câmaras de crescimento vegetal, com temperaturas controladas (23 °C e 27 °C), para as variáveis: índice de velocidade de emergência, estande inicial e final, altura de plântulas, peso de parte aérea de planta seca, peso de raiz seca, tamanho radicular, índice de doença e taxa de transmissão, durante 28 dias. Observou-se relação direta entre o aumento do inóculo e a severidade dos danos. O isolado CMLAPS859 provocou maior mortalidade e redução do desenvolvimento das plantas, afetando negativamente altura, peso de parte aérea de planta seca, tamanho e peso seco de raiz, e maiores índices da doença, com 100% de morte em pré-emergência no maior nível de inóculo e transmissão superior a 91,5% em NI24. O isolado CMLAPS860 causou danos menos severos e progressivos, com 71,3% de transmissão em NI24, afetando negativamente as taxas de germinação, IVE, estande inicial e final, mas permitindo o estabelecimento das plantas, que apresentavam diminuição nas variáveis de desenvolvimento. A compreensão da dinâmica de transmissão de M. phaseolina via sementes fornece subsídios para os programas de certificação e controle de qualidade de sementes no país.

Palavras-chave: Microescleródios, Patologia de Sementes, *Phaseolus vulgaris*, Podridão do carvão.

ABSTRACT

Common bean (Phaseolus vulgaris L.) production is of great economic and social importance in Brazil, but seed health is a limiting factor for productivity. Among the associated pathogens, Macrophomina phaseolina stands out, the causal agent of charcoal rot, capable of infecting several species. It can be transmitted by seeds or microsclerotia, resistant structures present in the soil and crop residues, which hinder the pathogen's eradication. This study aimed to evaluate the effects of M. phaseolina on bean seeds and determine the rate of transmission of this pathogen from seeds to progeny. For this purpose, seeds of the cultivar TAA-DAMA were inoculated with two isolates of the pathogen, CMLAPS859 and CMLAPS860, for periods of 24, 48, 72 and 96 hours, corresponding to the inoculum levels NI24, NI48, NI72 and NI96. The evaluations were conducted in the laboratory for germination, health, electrical conductivity tests and in plant growth chambers, with controlled temperatures (23°C and 27°C), for the variables: emergence speed index, initial and final stand, seedling height, dry shoot weight, dry root weight, root size, disease index and transmission rate, for 28 days. A direct relationship was observed between increasing inoculum and damage severity. Isolate CMLAPS859 caused greater mortality and reduced plant development, negatively affecting height, shoot dry weight, root size and dry weight, and higher disease rates, with 100% pre-emergence death at the highest inoculum level and transmission exceeding 91.5% in NI24. Isolate CMLAPS860 caused less severe and progressive damage, with 71.3% transmission in NI24, negatively affecting germination rates, ESI, and initial and final stands, but allowing plant establishment, which showed decreased developmental variables. Understanding the dynamics of M. phaseolina transmission via seeds provides support for seed certification and quality control programs in Brazil.

Keywords: Charcoal rot, Microsclerotia*, Phaseolus vulgaris*, Seed pathology.

INDICADORES DE IMPACTO

O presente estudo “Interação de *Macrophomina phaseolina* com sementes de feijão-comum”, apresenta informações que podem trazer impactos diretos e indiretos para o setor sementeiro, bem como para a cadeia produtiva do feijão, em diferentes escalas de produção, com destaque para a agricultura familiar. Considerando que o feijão é uma leguminosa cultivada em praticamente todas as regiões do Brasil e constitui a base alimentar da população brasileira, os resultados desta pesquisa têm potencial de alcance nacional. Os dados gerados oferecem subsídios importantes para o desenvolvimento de estratégias de controle de *M. phaseolina* associados a sementes de feijão-comum e para a formulação de diretrizes mais precisas em programas de certificação de sementes, com implicações tecnológicas e econômicas relevantes para a produção agrícola sustentável. O trabalho possui caráter aplicado, sendo resultado de parcerias com empresas produtoras de sementes, por meio da doação de amostras e com produtores da região, que contribuíram com relatos sobre a carência de informações e soluções voltadas à sanidade de sementes de feijão. O território impactado abrange as regiões produtoras de feijão em ambientes tropicais e subtropicais, com benefício potencial a pequenos e médios produtores que frequentemente enfrentam prejuízos devido à ausência de manejo fitossanitário adequado. Este projeto engloba a Política Nacional de Extensão no que se refere aos itens 5 – Meio ambiente e 7 – Tecnologia e produção. Além disso, este projeto está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente os ODS 2 - Fome zero e agricultura sustentável, 9 - Indústria, inovação e infraestrutura e 12 - Consumo e produção responsáveis. Além disso, o trabalho auxiliou na formação e qualificação de recursos humanos, envolvendo docentes e discentes em atividades de pesquisa aplicada, fortalecendo a integração entre universidade e sociedade por meio da resolução de problemas reais da sociedade.

IMPACT INDICATORS

This study, "The interaction of *Macrophomina phaseolina* with common bean seeds," presents information that may have direct and indirect impacts on the seed sector and the bean production chain at different scales, with a focus on family farming. Considering that beans are a legume grown in virtually all regions of Brazil and constitute the staple diet of the Brazilian population, the results of this research have potential for national reach. The data generated offer important insights for developing control strategies for *M. phaseolina* associated with bean seeds and for formulating more precise guidelines for seed certification programs, with significant technological and economic implications for sustainable agricultural production. This applied work is the result of partnerships with seed producing companies, through the donation of samples, and with local producers, who contributed reports on the lack of information and solutions for bean seed health. The impacted territory encompasses bean-producing regions in tropical and subtropical environments, potentially benefiting small and medium-sized producers who often face losses due to a lack of adequate phytosanitary management. This project encompasses the National Extension Policy regarding items 5 – Environment and 7 – Technology and Production. Furthermore, this project is aligned with the United Nations (UN) Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDGs 2 – Zero Hunger and Sustainable Agriculture, 9 – Industry, Innovation and Infrastructure, and 12 – Responsible Consumption and Production. Furthermore, the work contributed to the training and qualification of human resources, involving faculty and students in applied research activities, strengthening the integration between universities and society by solving real-world problems.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
2 REFERENCIAL TEÓRICO 13
2.1 A cultura do feijoeiro no Brasil 13
2.2 Podridão do carvão do feijoeiro 14
2.3 Sintomas e condições favoráveis à podridão do carvão 15
2.4 Associação de patógenos com sementes 16
4 OBJETIVO GERAL 18
4.1 Objetivos específicos 18
5 MATERIAL E MÉTODOS 19
5.1 Origem e multiplicação dos isolados de *Macrophomina phaseolina* e perfil das sementes 19
5.2 Obtenção de sementes com diferentes níveis de inóculo de *Macrophomina phaseolina* 20
5.3 Avaliação da incidência e efeitos de *Macrophomina phaseolina* no desempenho das sementes de feijão em condições de laboratório 20
5.3.1 Teste de germinação em rolo de papel 20
5.3.2 Teste de sanidade 20
5.3.3 Teste de condutividade elétrica (CE) 21
5.4 Avaliação da incidência e efeitos de Macrophomina phaseolina no desempenho das sementes de feijão em diferentes temperaturas de cultivo 21
5.4.1 Índice de Velocidade de Emergência (IVE) 21
5.4.2 Estande inicial e final 22
5.4.3 Altura de planta 22
5.4.4 Peso da parte aérea de planta seca 22
5.4.3 Tamanho e peso de raiz seca 22
5.4.5 Índice de Doença (ID) 22
5.6 Estudo de transmissão de *Macrophomina phaseolina* da semente para planta 23
5.7 Análises estatísticas 23
6 RESULTADOS 25
6.1 Avaliação da incidência e efeitos de *Macrophomina phaseolina* no desempenho de sementes de feijão em laboratório 25
6.2 Avaliação dos efeitos de *Macrophomina phaseolina* no desempenho de sementes de feijão em cultivo controlado 28
7 DISCUSSÃO 38
8 CONCLUSÃO 43
9 REFERÊNCIAS 44

1 INTRODUÇÃO

A produção de feijão-comum desempenha papel importante no Brasil, sendo fundamental para a alimentação da população e um pilar na dieta nacional, além de integrar a cultura tradicional do país (FERREIRA; BARRIGOSSI, 2021).

A produtividade de uma cultura está relacionada ao potencial genético da cultivar, às condições ambientais, à fertilidade do solo e ao controle fitossanitário, sendo este último um dos principais fatores limitantes da produção (KARAVIDAS et al., 2022). A incidência de patógenos em sementes se torna um fator limitante, pois causa danos diretos como a diminuição do vigor e germinação e indiretos como a transmissão de patógenos para plantas e disseminação de inóculo em campos de produção de sementes e grãos (MACHADO, 1988; 2001).

No feijoeiro, estima-se que cerca de 50% dos agentes causais de doenças, em sua maioria fungos, são transmitidos por sementes (CANALE et al., 2020). Entre os principais fungos estão *Colletotrichum lindemuthianum*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli, Fusarium solani* f. sp. *phaseoli*, *Macrophomina phaseolina*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium rolfsii* (FERREIRA et al., 2017).

A podridão do carvão, causada por *Macrophomina phaseolina*, tem se tornado uma doença de destaque na cultura do feijoeiro, causando perdas de 30% a 44% na produtividade em países produtores, sendo amplamente difundida no Brasil (BASANDRAI et al., 2021). Os sintomas da doença incluem murcha progressiva, desfolhamento prematuro, secagem e lesões com a presença de estruturas de resistência (DICKSON; BOETTGER, 1976; WELLER et al., 1980; SCHWARTZ; PASTOR-CORRALES, 1989).

M. phaseolina pode permanecer dormente no solo por vários anos, devido à produção de microescleródios, sua principal estrutura de sobrevivência e disseminação. Apesar de ser considerado um patógeno de solo, polífago e policíclico, sementes infectadas também exercem um papel importante na dispersão da doença. Na qual, podem ser disseminadas em curtas e longas distâncias, podendo introduzir o patógeno em áreas sem histórico de ocorrência da doença, sendo capazes de reduzir o rendimento na produção de sementes em até 36% (SIQUEIRA et al., 2016; TANČIĆ ŽIVANOV et al., 2019).

Nesse contexto, o presente estudo encontra-se alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), contribuindo para o enfrentamento de desafios globais por meio de práticas agrícolas

mais eficientes e responsáveis (UNITED NATIONS, 2015). A pesquisa dialoga com o ODS 2 – Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e a melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável, uma vez que o aumento da produtividade e a redução de perdas agrícolas representam estratégias centrais para assegurar o acesso a alimentos de qualidade e em quantidade suficiente (SQUIRES & GAUR, 2020). De igual modo, este trabalho dialoga com o ODS 9 – Indústria, inovação e infraestrutura, ao fortalecer a base científica necessária para a implementação de práticas agrícolas inovadoras e sustentáveis. Onde a correta detecção de patógenos e a adoção de estratégias de manejo adequadas permitem não apenas a diminuição da utilização de insumos químicos, mas também a preservação da microbiota local e a incorporação de técnicas de manejo sustentável no controle de doenças, como a podridão-do-carvão, reconhecida pelo seu elevado potencial de impacto econômico e produtivo (CUBERO et al., 2024).

Adicionalmente, insere-se no escopo do ODS 12 – Consumo e produção responsáveis, que visa, até 2030, promover sistemas produtivos mais equilibrados e menos onerosos ao meio ambiente. Nesse sentido, o estudo contribui para a discussão sobre alternativas que minimizem a dependência de defensivos químicos, reduzam riscos à saúde humana e favoreçam práticas que assegurem maior eficiência produtiva.

Diante do exposto e da escassez de informações sobre a associação de *M. phaseolina* com sementes de feijão-comum, o presente estudo objetiva verificar os efeitos da infecção deste patógeno em sementes e no estabelecimento inicial da cultura, assim como a determinação da taxa de transmissão do patógeno de sementes para plântulas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do feijoeiro no Brasil

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), pertencente à família *Fabaceae*, é um dos principais pilares da alimentação brasileira, sendo consumido de diversas formas em todas as regiões do país desde o século XVI (GONZALEZ, 2017). Trata-se de uma leguminosa versátil, de fácil manejo, que pode ser cultivada sozinha ou em consórcio, com colheita manual ou mecanizada (MELO *et al.*, 2014). Apresenta ampla diversidade genética e adaptabilidade a diferentes sistemas de cultivo (LEAL *et al*., 2023). Além disso, destaca-se por seu elevado valor nutricional, sendo uma importante fonte de proteínas, fibras, vitaminas e minerais, desempenhando papel central na segurança alimentar e na dieta de populações com vulnerabilidade nutricional (KARAVIDAS *et al.*, 2022).

No Brasil, a produção de feijão na safra de 2024/25 foi de 3.172 milhões de toneladas, com produtividade média de 1.139 kg/ha, cultivado em uma área total de cultivo de 2.784 mil/ha (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2025). O país ocupa a terceira posição entre os maiores produtores de feijão, destinando cerca de 13% da produção à exportação, enquanto a maior parte é consumida no mercado interno, destacando-se como principais estados produtores o Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso (CONAB, 2025).

O cultivo do feijão no Brasil apresenta elevado potencial de expansão devido a sua ampla adaptabilidade as variações sazonais e a possibilidade de mais de um ciclo de produção por ano (CARMO *et al*., 2016). Essa cultura apresenta três épocas distintas de plantio: a primeira de agosto a dezembro, a segunda de janeiro a abril e a terceira de maio a agosto (SILVA et al., 2023). Para otimizar os resultados de produtividade, práticas como o plantio direto tem sido amplamente adotadas juntamente com tecnologias de agricultura de precisão, sementes geneticamente melhoradas, monitoramento por sensoriamento remoto e mecanização da colheita, fatores que permitem a viabilidade do cultivo ao longo de todo o ano (FERREIRA; BARRIGOSSI, 2021).

Entretanto, apesar das vantagens agronômicas e socioeconômicas, o feijoeiro enfrenta desafios fitossanitários, que comprometem diretamente a produtividade e a qualidade da safra. Um exemplo relevante é a podridão do carvão, causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina*, responsável por perdas significativas de produtividade em diversas regiões produtoras (MOTA *et al.,* 2019).

2.2 Podridão do carvão do feijoeiro

Descrita pela primeira vez no Brasil em 1935, a podridão do carvão, também conhecida como podridão-cinzenta do caule, tem como agente causal o fungo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., que afeta centenas de famílias de espécies leguminosas, cerais, frutas e fibras, dentre elas várias culturas de importância econômica, como o feijão, amendoim (*Arachis hypogaea* L.), mamona (*Ricinus communis* L.), soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e o algodão (*Gossypium hirsutum* L.) (WATANABE *et al.,* 1970; SCHWARTZ; PASTOR-CORRALES, 1989).

Macrophomina phaseolina encontra-se amplamente difundido em várias regiões do mundo, incluindo o Brasil e caracteriza-se pela elevada capacidade de sobrevivência no solo, atribuída à produção de estruturas de resistência denominadas microescleródios (MARQUEZ *et al.,* 2021). Os microescleródios são massas compactadas de hifas, de formato oval e coloração castanho-claro, que escurecem com o tempo e permanecem viáveis no solo por anos. Essas estruturas infectam sementes, raízes e caules das plantas (ISHIKAWA *et al.,* 2018). Abaixo do colo e nas raízes, os microescleródios se multiplicam, culminando na decomposição desses tecidos e sendo liberados novamente no solo, tornando-se uma das principais fontes de inóculo do fungo que posteriormente, germinam em diferentes períodos e infectam plantas em variados estádios fenológicos (TOK, 2019).

M. phaseolina apresenta micélio com células uni e multinucleadas, hifas hialinas, castanho-claro a escuro e conídios hialinos; produz picnídios escuros e ásperos, visíveis em tecidos vivos e mortos, mas ausentes quando cultivados em meio de cultura (PANDEY *et al.,* 2020). Além disso, esse fungo sintetiza diversas enzimas que favorecem o processo de infecção, como enzimas hidrolíticas, enzimas degradadoras de parede celular, além de fitotoxinas (LODHA& MAWAR, 2020).

A incidência de *M. phaseolinha* em sementes de feijão compromete sua qualidade fisiológica, causando desuniformidade na germinação e, consequentemente, no estabelecimento do estande inicial (NASERI, 2014). Sementes infectadas são consideradas um dos principais veículos de disseminação deste patógeno, podendo introduzi-lo em novas áreas, atuar como fonte de inóculo primário e quando eficientemente transmitido pelas sementes, pode causar em casos mais severos a morte prematura de plântulas (ZANELLA *et al.,* 2020). Além disso, a disseminação do patógeno pode ocorrer também por meio da água da irrigação, vento, animais, implementos agrícolas e solo contaminado (ARF *et al.,* 2015).

A eficiência do processo de transmissão de patógenos via sementes pode ser influenciada pelo estágio de colonização, ocorrendo por diferentes vias: vascular (a partir da planta-mãe), floral (via estigma) ou por contato direto do patógeno com o tegumento da semente em estágios tardios (SHADE; JACQUES; BARRET, 2017). Quando presente no embrião, o patógeno pode ser eficientemente transferido para as plântulas (BARRET *et al.,* 2016).

2.3 Sintomas e condições favoráveis à podridão do carvão

A intensidade dos danos causados pela podridão do carvão apresenta variações de acordo com o órgão afetado, as condições ambientais e do estágio de desenvolvimento da planta (DA SILVA *et al.,* 2016). A doença manifesta-se por meio de sintomas como deterioração das sementes, diminuição na taxa de germinação e emergência, mortalidade de plântulas, necrose nos cotilédones, decomposição do caule, das hastes e raízes, bem como sintomas de murcha (JR; BARGUIL, 2021).

Um sintoma característico da infecção por *M. phaseolinha* nas fases de pré e pós-emergência é o damping-off, o qual pode resultar da presença de estrutura de resistência do patógeno no solo, ou pela transmissão para plântulas através de sementes infectadas (TOMAZI *et al.,* 2019). Essa sintomatologia está associada à obstrução dos vasos dos tecidos vasculares, tanto no xilema, quanto no floema, ocasionando necrose e morte dos sistemas radiculares e caulinares (SALES JÚNIOR *et al.,* 2020).

Outros sintomas comumente observados incluem coloração cinza ou prateada em caules e raízes, além de tonalidades avermelhadas a castanho-escuro nas lesões, acompanhadas da presença característica de microescleródios (CAMILO; PIETRO-SOUZA, 2023). Em estágios mais avançados de desenvolvimento, a doença evolui de forma gradual, acarretando amarelecimento foliar, desfolhamento precoce e raquitismo e na região central das lesões, pode-se observar a formação de picnídios, indicando a atividade avançada do patógeno (WENDLAND *et al.,* 2018).

Segundo Marquez et al. (2021) temperaturas mais elevadas, entre 30 e 35 ºC, associadas à baixa umidade do solo (< 60%) favorecem significativamente o desenvolvimento de *M. phaseolina*, refletindo em perdas expressivas na produtividade da cultura. De acordo com Wendland *et al.* (2018), esse patógeno apresenta maior incidência em áreas sob deficit hídrico, sendo raramente observado em condições de elevada umidade, como períodos chuvosos ou áreas irrigadas.

Além das condições térmicas e hídricas, características físico-químicas do solo também influenciam a infecção (PORTO *et al*., 2020). Solos compactados criam um ambiente propício à atuação do patógeno, enquanto fatores como baixa relação carbono-nitrogênio (C:N) e baixa concentração de oxigênio reduzem sua viabilidade, sendo considerados limitantes ao seu desenvolvimento (ALMEIDA *et al*., 2014).

Considerando essas condições predisponentes, estratégias de manejo devem priorizar a prevenção da introdução e disseminação do patógeno. Para o controle de *M. phaseolina*, recomenda-se a utilização de sementes sadias ou tratadas, visando assim, evitar a transmissão do patógeno de semente para planta e sua persistência no hospedeiro e solo (MARQUEZ *et al*., 2021). Também são indicadas práticas como a rotação de culturas, embora sua eficácia seja limitada pela ampla gama de hospedeiros do fungo e a aplicação de fungicidas químicos a base de fenilpirrol, triazol e carboxanilida juntamente com dimetilditiocarbamato, além de biofungicidas a base de *Trichoderma harzianum* (SANTOS, 2018).

2.4 Associação de patógenos com sementes

A associação de espécies de fungos patogênicos com sementes acarreta uma série de consequências negativas. Diferentes efeitos deletérios nas sementes já foram descritos, como manchas, descolorações, deformações, deterioração de sementes armazenadas, produções de micotoxinas e, principalmente, comprometimento da quantidade e qualidade do produto (TEIXEIRA; MACHADO, 2003; KING et al., 2012; SIQUEIRA *et al*., 2014; MOTA *et al*., 2019).

A presença de fungos em sementes está intimamente ligada à microbiota presente, podendo impactar diretamente a qualidade do lote (SIMONIN, *et al*. 2022). Esse fator acarreta complicações como a disseminação entre sementes e a transmissão para a plântula após a germinação (MACHADO, 1988). A transmissão pode ocorrer tanto da planta para a semente quanto da semente para a planta, por vias internas como o xilema, ou ainda por tecidos não vascularizados (SHADE; JACQUES; BARRET, 2017).

A capacidade de transmissão de um patógeno depende de diversos fatores, incluindo o tecido da semente onde ele se aloja, podendo estar aderido superficialmente ao tegumento, ou presente em regiões mais internas, como o endosperma e o embrião, sendo que, quanto mais internalizado, maior a probabilidade de transmissão e menor a eficácia dos processos de desinfestação superficial (GROVES *et al*., 2016.).

Do ponto de vista epidemiológico, a disseminação de patógenos por sementes exerce papel crucial na propagação de doenças, tornando-se essencial para a previsão da ocorrência e expansão desses agentes fitopatogênicos (ARAÚJO *et al*., 2006; DARRASSE *et al*., 2007). Destaca-se que, mesmo baixos níveis de contaminação, podem ser suficientes para colonização eficiente das plantas (PEDROZO *et al*., 2016).

No caso do feijoeiro, estima-se que cerca de 50% ou mais dos agentes etiológicos sejam transmitidos por meio de sementes (NEERGARRD, 1979; FREITAS, 2007). Devido a isso, o uso de sementes de baixa qualidade, incluindo sementes oriundas de safras anteriores (sementes salvas) ou adquiridas por meio de trocas entre os agricultores, representa um fator crítico que contribui significativamente para a redução da produtividade nas lavouras (MARINO *et al*., 2008).

Segundo Athayde Sobrinho *et al*. (1998), *M. phaseolina* pode ser transportado internamente por sementes de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L Walp.) mesmo após processos de desinfestação. Mota e colaboradores (2019) relataram uma taxa de transmissão de 76,46% de sementes para plantas de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). Apesar desses registros, são escassos os estudos envolvendo a associação de *M. phaseolina* com sementes de feijão-comum, dificultando o entendimento aprofundado sobre os mecanismos de transporte via sementes, seus efeitos no desenvolvimento inicial de plântulas e a sua taxa de transmissão.

4 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos de *M. phaseolina* em sementes de feijão e determinar a taxa de transmissão deste patógeno a partir de sementes para a progênie.

4.1 Objetivos específicos

- Avaliar a relação entre níveis de inóculo de *Macrophomina phaseolina* em sementes e temperatura ambiente no desenvolvimento inicial do feijoeiro.
- Quantificar as taxas de transmissão de *M. phaseolina* a partir de sementes de feijão infectadas pelo patógeno, considerando-se morte em pré emergência, plântulas sintomáticas e assintomáticas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Patologia de Sementes (LAPS) do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Minas Gerais.

5.1 Origem e multiplicação dos isolados de *Macrophomina phaseolina* e perfil das sementes

Foram utilizados dois isolados de *M. phaseolina*, CMLAPS859 e CMLAPS860, selecionados a partir da coleção micológica do Laboratório de Patologia de Sementes da UFLA em parceria com Embrapa Milho e Sorgo. Esses isolados foram inicialmente testados quanto a sua patogenicidade conforme a escala de McKinney (1993). Em seguida, os isolados foram multiplicados utilizando-se placas de Petri contendo o meio BDA (20 g de ágar, 20 g de dextrose e 200 g de batata/litro) e mantidos em câmara do tipo BOD à temperatura de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas.

As sementes da cultivar TAA DAMA foram obtidas junto a empresas produtoras parceiras. Essa cultivar encontra-se no Registro Nacional de Cultivares (RNC) sob o número de registro 31005, mantida pela Agropecuária Terra Alta Ltda. Trata-se de uma cultivar de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) com hábito de crescimento indeterminado, tipo III, e ciclo intermediário de 89 dias (BRASIL, 2019). De acordo com informações técnicas disponibilizadas pela empresa produtora, a TAA Dama apresenta resistência ao mosaico comum, à murcha de *Fusarium* e à ferrugem; suscetibilidade a bacterioses, à mancha angular e antracnose e tolerância ao oídio. Adicionalmente, possui elevado teto produtivo, tolerante a chuva, e adaptada a colheita mecânica.

Após a caracterização da cultivar, procedeu-se à análise de uma amostra representativa das sementes quanto ao perfil fisiológico e sanitário, assegurando a qualidade do material empregado nos experimentos. Verificou-se que as sementes estavam isentas de *Macrophomina phaseolina* e apresentaram 91% de germinação.

5.2 Obtenção de sementes com diferentes níveis de inóculo de *Macrophomina phaseolina*

Para a inoculação de *M. phaseolina* foi utilizado o método de condicionamento hídrico (MACHADO *et al*., 2001). Primeiramente, as sementes foram desinfestadas com hipoclorito de sódio 1% por 1 minuto, lavadas com água destilada esterilizada e colocadas para secar em ambiente controlado sobre papel germitest durante 48 horas. Em seguida, foram preparadas placas de Petri contendo o meio de cultura BDA acrescido do soluto manitol, com potencial hídrico ajustado para -1,4 MPa, conforme o software SPPM (MICHEL; RADCLIFFE, 1995). Os isolados selecionados foram repicados e incubados à temperatura de 28 °C e fotoperíodo de 12 horas, permanecendo entre 5 e 7 dias. Após esse período, as sementes foram depositadas em camada única e de modo uniforme, em contato com a colônia fúngica, por 24, 48, 72 e 96 horas, sendo estes tempos correspondentes aos diferentes níveis de inóculo NI24, NI48, NI72 e NI96, respectivamente. Para avaliar o efeito do restritor hídrico, na ausência do fungo, as sementes foram depositadas em placas de Petri contendo o mesmo meio de cultura BDA modificado com manitol, pelos mesmos períodos utilizados para a inoculação do fungo (FRANÇA *et al*., 2021).

5.3 Avaliação da incidência e efeitos de *Macrophomina phaseolina* no desempenho das sementes de feijão em condições de laboratório

5.3.1 Teste de germinação em rolo de papel

Utilizaram-se 50 sementes por repetição, totalizando 200 por tratamento, distribuídas sobre substrato de papel tipo germitest umedecido com água destilada na proporção de 2,5 vezes o peso do papel, armazenadas em germinador a 25 ± 2 °C. As avaliações foram realizadas no quinto e no nono dia após a semeadura conforme os critérios padronizados nas Regras para Análise de Sementes. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009a).

5.3.2 Teste de sanidade

Em placas de Petri com 15 cm de diâmetro foram transferidos o substrato de papel embebido em meio ágar-água acrescido de 2,4-D (diclorofenoxiacetato de sódio) na concentração de 10 ppm. Sobre este substrato foram distribuídas as sementes de feijão inoculadas, sendo utilizadas 25 sementes por placa, totalizando 8 repetições. Em seguida, as

placas de Petri foram incubadas durante sete dias em câmara de crescimento a 20 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas. As avaliações foram realizadas utilizando-se o microscópio estereoscópico para visualização de estruturas típicas de *M. phaseolina* nas sementes incubadas (BRASIL, 2009b).

5.3.3 Teste de condutividade elétrica (CE)

Em uma balança analítica (0,0001 g) foram pesadas 50 sementes de feijão, o que representa cada repetição, totalizando 200 sementes por tratamento. Posteriormente, as sementes foram depositadas em copos plásticos (200 mL) contendo 75 mL de água deionizada. Estes copos foram acondicionados em câmara do tipo BOD a 25 ± 2 °C por 24 horas. Após esse período, foi realizada a leitura da condutividade elétrica da solução utilizando-se condutivímetro DIGIMED, modelo DM-21, previamente calibrado com solução de KCl. O resultado obtido foi dividido pelo peso de cada tratamento, sendo o resultado final expresso em $\mu mhos.cm^{-1}.g^{-1}$ conforme descrito por Krzyzanowski *et al*. (2020).

5.4 Avaliação da incidência e efeitos de Macrophomina phaseolina no desempenho das sementes de feijão em diferentes temperaturas de cultivo

5.4.1 Índice de Velocidade de Emergência (IVE)

Foram utilizadas 100 sementes por tratamento, distribuídas individualmente, em copos plásticos de 200 mL, contendo substrato comercial (Multiplanta trop SC 25 kg) e areia autoclavada na proporção 2:1. Foram utilizadas 25 sementes por bandeja, correspondendo a uma repetição. O experimento foi conduzido em duas câmaras de crescimento com temperaturas ajustadas em 23 ± 2 °C e 27 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas luz (luz do dia NSK T10 40W 6500K FL40T10-6 60Hz) /12 horas escuro (Tabela 1).

Foram realizadas contagens diárias de emergência das plântulas a partir da primeira emergência até a estabilização do estande durante três dias consecutivos. Foi considerada a emissão das folhas primárias para a contagem da planta emergida. As plântulas foram cultivadas em câmara de crescimento até 28 dias após a semeadura (d.a.s.) e o IVE foi calculado de acordo com a fórmula descrita por Maguire (1962).

Tabela 1. Parâmetros utilizados para avaliação de *Macrophomina phaseolina* no desempenho das sementes de feijão em câmara de crescimento vegetal.

Isolados	Cultivar	Temperatura	Níveis de inóculo
CMLAPS859	TAA DAMA	23 ºC	24, 48, 72 e 96 h
CMLAPS860	TAA DAMA	27 ºC	24, 48, 72 e 96 h

Fonte: Da autora (2025).

5.4.2 Estande inicial e final

Os estandes foram registrados aos 5º (inicial) e 28º (final) d.a.s., sendo o valor absoluto transformado em porcentagem.

5.4.3 Altura de planta

A parte aérea de 10 plantas por repetição foi medida com régua milimetrada aos 28 d.a.s.

5.4.4 Peso da parte aérea de planta seca

Ao final dos 28 dias de cultivo, as plântulas emergidas foram seccionadas na região do colo. Após, foram acondicionadas em estufa com circulação de ar forçada a 70 °C durante sete dias e posteriormente, pesadas, sendo os resultados expressos em gramas por planta (SIQUEIRA et al., 2014).

5.4.3 Tamanho e peso de raiz seca

Aos 28 dias após a semeadura (d.a.s.), o comprimento da parte radicular de 10 plântulas por repetição, foi mensurado com o auxílio de régua milimetrada e posteriormente a pesagem seguiu a mesma metodologia citada para a parte aérea (ZANELLA *et al*., 2020).

5.4.5 Índice de Doença (ID)

Foram avaliadas as plântulas das parcelas em notas de 0, 1, 2 e 3, onde: zero = plântulas normais sem sintomas de infecção; 1= plântulas com tamanho reduzido e aspecto levemente clorótico; 2= plântulas com sintomas típicos de tombamento; 3= plântulas/sementes mortas em pré-emergência. Os valores foram calculados conforme a fórmula de McKinney (1993) expressos os valores médios percentuais da doença avaliada.

5.6 Estudo de transmissão de *Macrophomina phaseolina* da semente para planta

Para a avaliação da transmissão de *M. phaseolina* foram utilizadas sementes da cultivar TAA DAMA, inoculadas com 2 isolados desse fungo CMLAPS859 e CMLAPS860, em 4 períodos: 24, 48, 72 e 96h, correspondentes aos diferentes níveis de inóculo NI24, NI48, NI72 e NI96, respectivamente. As sementes foram cultivadas em duas câmaras de cultivo vegetal reguladas a23 e 27 °C e fotoperíodo de 12 horas luz/ 12 horas escuro.

Cada tratamento foi composto por quatro repetições, sendo cada repetição constituída por uma bandeja com 25 copos plásticos (200 ml), contendo substrato comercial (Multiplanta trop SC 25kg) e areia autoclavada na proporção 2:1 e a razão de uma semente por copo. A partir do surgimento dos primeiros sintomas da doença, as plântulas emergentes foram fragmentadas, desinfestadas e transferidas para placas de Petri contendo o meio BDA. Essas placas foram incubadas à temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas para a confirmação da presença do patógeno. Após 28 d.a.s, as demais plântulas foram coletadas e fragmentos de 2 cm foram retirados na altura do colo e última inserção das folhas, sendo desinfestados em álcool 70%, hipoclorito de sódio 1% e água destilada esterilizada por 1 minuto e, seguido de secagem em papel esterilizado. Posteriormente, os fragmentos foram depositados em placas de Petri com o meio BDA e incubadas a temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas por um período de 7 dias. Os fragmentos foram avaliados no microscópio estereoscópico em relação as estruturas características de *M. phaseolina* (GADAGA *et al*., 2020).

Foi utilizado para o cálculo de taxa de transmissão do patógeno, de sementes para plântulas, a fórmula descrita por (GUIMARÃES *et al*., 2017):

$$TT = \frac{SMPE + PES + PENS}{} \times 100 \qquad (1)$$

Onde: TT = Taxa de transmissão total (%), SMPE = Sementes mortas em pré-emergência, PES = Plântulas emergidas sintomáticas e PENS = Plântulas emergidas assintomáticas.

5.7 Análises estatísticas

As variáveis analisadas em cada experimento foram submetidas aos testes de Shapiro Wilk e Batlett ($p>0,05$) para verificar os pressupostos da análise de variância. Para os testes de germinação, sanidade e condutividade elétrica, o delineamento experimental utilizado foi

inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial duplo 2 x 5 (2 isolados e 5 níveis de inóculo), com quatro repetições por tratamento.

Para os testes de emergência, que avalia IVE, estande inicial e final, altura, peso da parte aérea de plântula fresca e seca, comprimento e peso de raiz seca, e índice de doença, foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial triplo 2 x 2 x 5 (2 ambientes de cultivo, 2 isolados e 5 níveis de inóculo).

Como os pressupostos foram atendidos, os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F $p \leq 0,05$) e quando significativo, as variáveis qualitativas foram comparadas por Teste de Tukey ($p < 0,05$).

Paras as variáveis quantitativas foi realizado o ajuste de modelos lineares e não lineares, por análise de regressão utilizando o software R versão 4.5.1 (R CORE TEAM, 2025).

6 RESULTADOS

Não houve quaisquer efeitos de restritor hídrico sob o desempenho das sementes nos testes realizados.

6.1 Avaliação da incidência e efeitos de *Macrophomina phaseolina* no desempenho de sementes de feijão em laboratório

Em relação as variáveis incidência de *M. phaseolina* em sementes de feijão-comum, porcentagem de germinação e condutividade elétrica, foram verificadas interações significativas entre os fatores isolados e nível de inóculo (Tabela 2).

Tabela 2. Germinação, incidência de *Macrophomina phaseolina* e condutividade elétrica de sementes de feijão-comum (cultivar TAA Dama) inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860) em diferentes níveis de inóculo (NI0 = 0 h; NI24 = 24 h; NI48 = 48 h; NI72 = 72 h; NI96 = 96 h). Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de cada nível de inóculo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

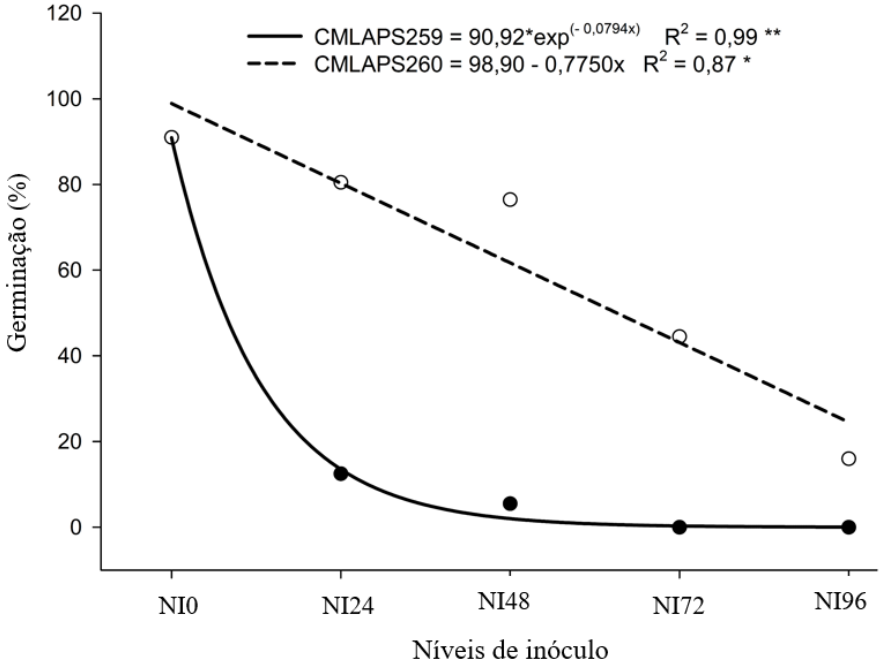
Incidência (%)					
Isolados	**Nível de inóculo**				
	NI0	NI24	NI48	NI72	NI96
CMLAPS859	0,0 a	89,0 a	98,5 a	100,0 a	100,0 a
CMLAPS860	0,0 a	9,0 b	33,0 b	93,5 b	100,0 a
CV (%)					1,81
CE (µS cm⁻¹ g⁻¹)					
Isolados	**Nível de inóculo**				
	NI0	NI24	NI48	NI72	NI96
CMLAPS859	98,1 a	105,4 a	108,7 a	222,7 a	453,5 a
CMLAPS860	98,1 a	103,3 a	116,3 a	122,2 b	127,6 b
CV (%)					7,49
Germinação (%)					
Isolados	**Nível de inóculo**				
	NI0	NI24	NI48	NI72	NI96
CMLAPS859	91 a	12,5 a	5,5 a	0,0 a	0,0 a
CMLAPS860	91 a	80,5 b	76,5 b	44,5 b	16,0 b
CV (%)					12,5

Fonte: Da autora (2025).

O percentual de germinação das sementes de feijão-comum inoculadas com *Macrophomina phaseolina* reduziu progressivamente com o aumento do nível de inóculo,

independentemente do isolado (Figura 1). No menor nível (NI24), o isolado CMLAPS859 reduziu 86% da germinação em relação à testemunha, resultando em completa inibição a partir de NI72. Por outro lado, o isolado CMLAPS860 apresentou reduções mais graduais, com decréscimo de cerca de 11% em NI24 e até 82% no nível máximo de inoculação (NI96).

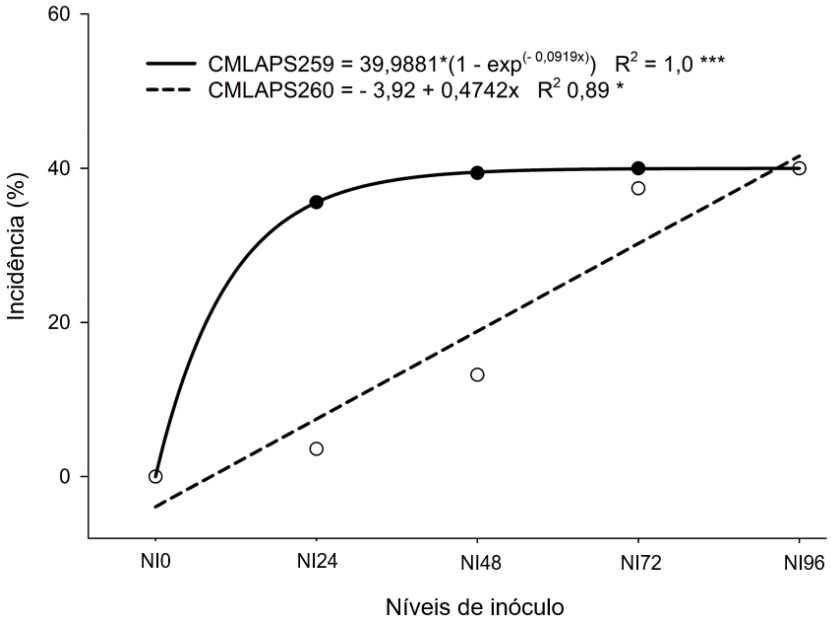
Figura 1. Porcentagem de plântulas normais provenientes de sementes de feijão-comum (cultivar TAA Dama) inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860) em diferentes níveis de inóculo (NI0= 0 h; NI24 = 24 h; NI48 = 48 h; NI72 = 72 h; NI96 = 96 h). Linhas representam os modelos de regressão ajustados aos dados experimentais.



Fonte: Da autora (2025).

A incidência de *M. phaseolina* em sementes de feijão foi observada para ambos os isolados a partir do menor nível de inóculo (Figura 2). No tratamento controle (NI0), não foi detectada incidência do patógeno, confirmando a ausência de infecção. Nos níveis de inóculo NI24, NI48, NI72, o isolado CMLAPS859 apesentou incidência significativamente superior à do isolado CMLAPS860. Em NI24, a incidência de CMLAPS859 ultrapassou 90%, enquanto CMLAPS860 não superou 10%. No maior nível de inóculo (NI96), ambos os isolados atingiram 100% de incidência.

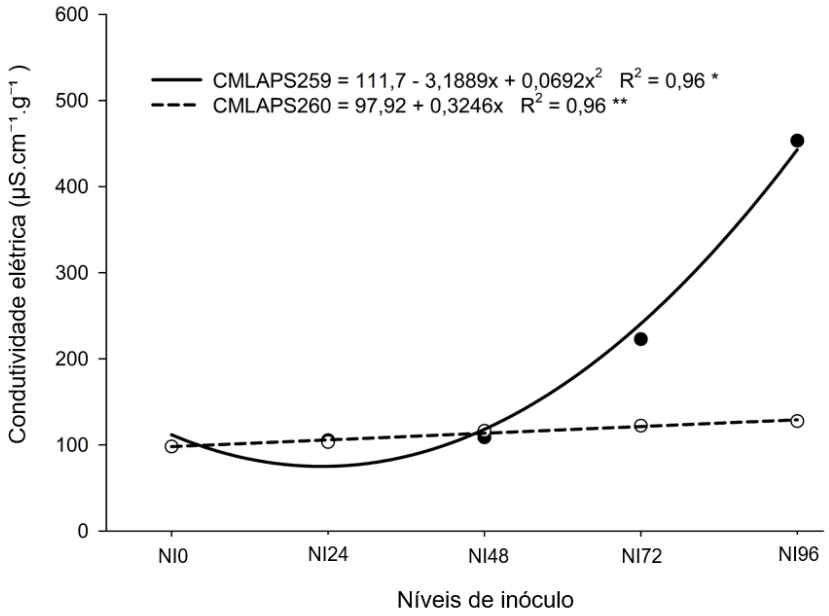
Figura 2. Incidência de dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860) inoculados em sementes de feijão-comum em diferentes níveis de inóculo (NI0 = 0 h; NI24 = 24 h; NI48 = 48 h; NI72 = 72 h; NI96 = 96 h). Linhas representam os modelos de regressão ajustados aos dados experimentais.



Fonte: Da autora (2025).

Em relação à condutividade elétrica das sementes, ambos os isolados causaram danos as membranas celulares a partir do menor nível de inóculo, com aumento progressivo conforme o aumento do nível de inóculo (Figura 3). O isolado CMLAPS859, apresentou danos celulares quatro vezes maior em NI96 quando comparado a testemunha. Em contraste, o isolado CMLAPS860 apresentou efeito gradual, causando danos de até 30% no maior nível de inóculo (NI96).

Figura 3. Condutividade elétrica (CE) de sementes de feijão-comum inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860) em diferentes níveis de inóculo (NI0 = 0 h; NI24 = 24 h; NI48 = 48 h; NI72 = 72 h; NI96 = 96 h). Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: Da autora (2025).

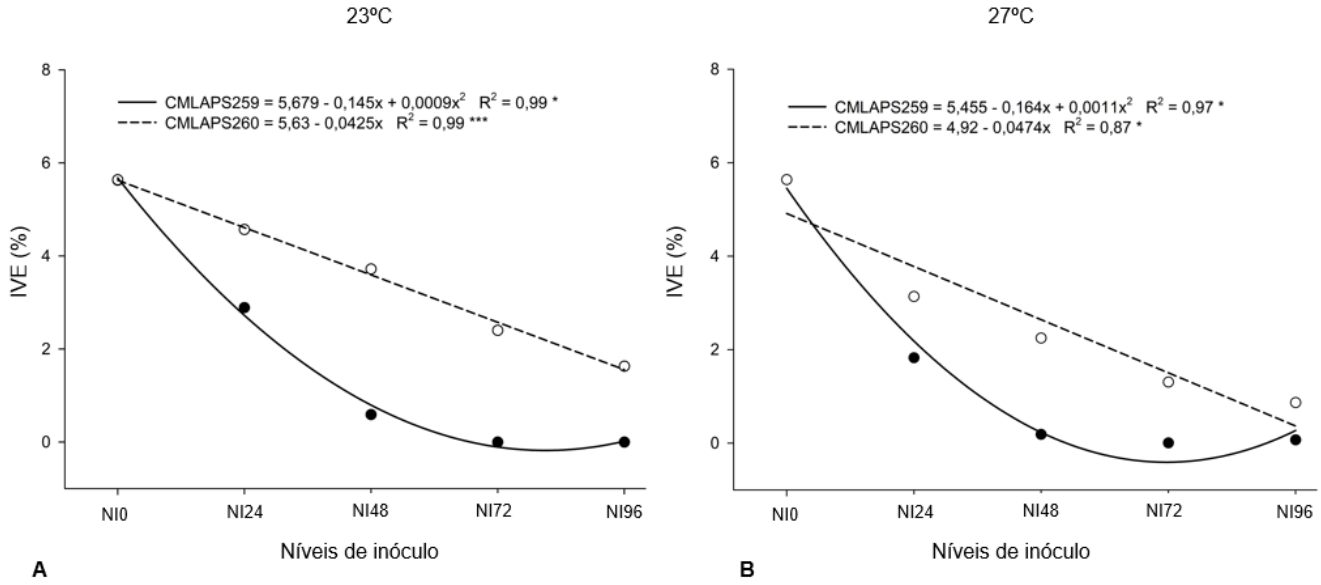
6.2 Avaliação dos efeitos de *Macrophomina phaseolina* no desempenho de sementes de feijão em cultivo controlado

Em relação as variáveis índice de velocidade de emergência, estande inicial e final, altura de plantas, peso da parte aérea seco, tamanho e peso seco radicular foram verificadas interações significativas entre os fatores isolados, temperatura e nível de inóculo. Para o estudo da transmissão de *M. phaseolina* verificou-se interação apenas entre isolados e níveis de inóculo, assim como não houve interação significativa entre os fatores para a variável ID.

O índice de velocidade de emergência (IVE) apresentou redução progressiva com o aumento dos níveis de inoculação, em ambas as temperaturas (Figura 4; Tabela 3). O isolado CMLAPS859 mostrou decréscimo acentuado, com valores próximos de zero a partir de 48 horas, enquanto o isolado CMLAPS860 levou a uma diminuição de forma linear, indicando que quanto maior o nível de inóculo, menor é o vigor das plantas, mantendo índices detectáveis até 96 horas. Em geral, a temperatura de 27 °C intensificou a redução do IVE em

comparação a 23 °C. Os dados ajustaram-se adequadamente aos modelos de regressão linear e quadrático.

Figura 4. Índice de velocidade de emergência (IVE) de plantas de feijão comum (cultivar TAAM DAMA) inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860), em diferentes níveis de inóculo: NI0 (0 horas), NI24 (24 horas), NI48 (48 horas), NI72 (72 horas) e NI96 (96 horas). A: cultivo a 23 °C e B: cultivo a 27 °C. Linhas representam os modelos de regressão ajustados aos dados experimentais.



Fonte: Da autora (2025).

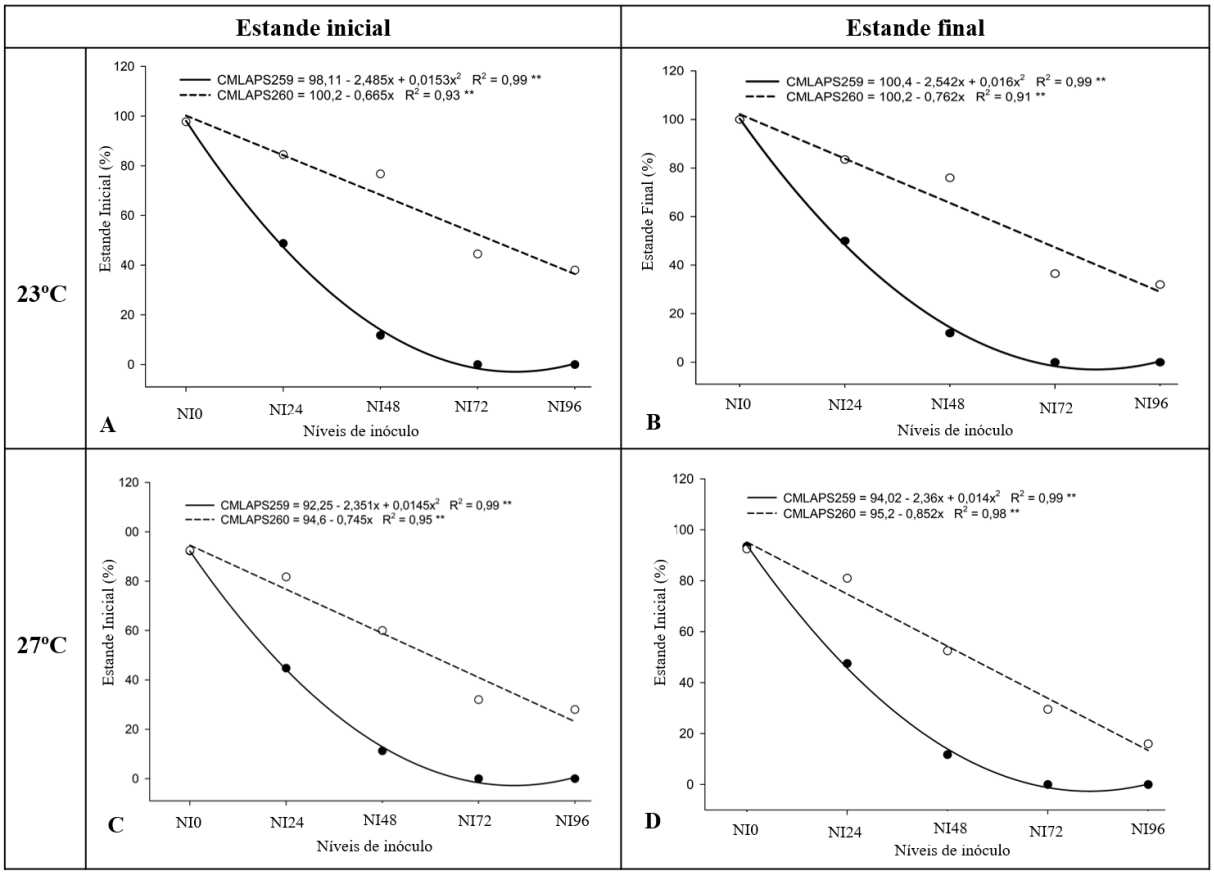
Esses resultados são condizentes com os verificados nas variáveis estande inicial e final (Figura 5). Em ambos os estandes, observou-se redução gradativa com o aumento do nível de inóculo, mais acentuada para o isolado CMLAPS859. A partir de NI48, esse isolado reduziu o estande a valores próximos de 10%, chegando a 0% nos níveis NI72 e NI96, independentemente da temperatura. Em contrapartida, o isolado CMLAPS860 manteve percentuais superiores ao longo do tempo, mesmo nos maiores níveis de inóculo, com valores de aproximadamente 38% no estande inicial e 32% no estande final a 23 °C, em NI96. Observou-se ainda que a temperatura de 27 °C intensificou a redução do estande em relação a 23 °C para ambos os isolados, os dados ajustando-se adequadamente aos modelos de regressão linear e quadrático.

Tabela 3. IVE, Estande inicial e final de plantas de feijão-comum (cultivar TAA Dama) emergidas de sementes inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860), em diferentes níveis de inóculo (NI0 = 0 h; NI24 = 24 h; NI48 = 48 h; NI72 = 72 h; NI96 = 96 h), sob temperaturas de 23 °C e 27 °C. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Estande Inicial (%)										
Isolados	NI0		NI24		NI48		NI72		NI96	
	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC
CMLAPS859	97,75aA	92,25aB	48,75aA	44,75aB	11,75aA	11,25aA	0,0aA	0,0aA	0,0aA	0,0aA
CMLAPS860	97,75aA	92,25aB	84,5bA	81,75bB	76,75bA	60,0bB	44,5bA	32,0bB	38,0bA	28,0bB
CV (%)										1,02
Estande Final (%)										
Isolados	NI0		NI24		NI48		NI72		NI96	
	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC
CMLAPS859	100aA	93,5aB	50,0aA	47,5aB	12,0aA	11,75aA	0,0aA	0,0aA	0,0aA	0,0aA
CMLAPS860	100aA	92,5bB	83,5bA	81,0bB	76,0bA	52,5bB	36,5bA	29,5bB	32,0bA	16,0bB
CV (%)										0,94
IVE (%)										
Isolados	NI0		NI24		NI48		NI72		NI96	
	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC
CMLAPS859	5,63aA	5,64aB	2,89aA	1,83aB	0,59aA	0,19aB	0,0aA	0,009aA	0,0aA	0,074aB
CMLAPS860	5,64aA	5,64aA	4,57bA	3,14bB	3,72bA	2,25bB	2,40bA	1,31bB	1,63bA	0,87bB
CV (%)										0,42

Fonte: Da autora (2025).

Figura 5. Estande inicial e final de plantas de feijão comum (cultivar TAAM Dama) emergidas de sementes inoculadas com dois isolados de Macrophomina phaseolina (CMLAPS859 e CMLAPS860), em diferentes níveis de inóculo: NI0 (0 horas), NI24 (24 horas), NI48 (48 horas), NI72 (72 horas) e NI96 (96 horas). (A-B) cultivo a 23 °C. (C-D) 27 °C. Linhas representam os modelos de regressão ajustados aos dados experimentais, demonstrando adequação aos modelos linear e quadrático.

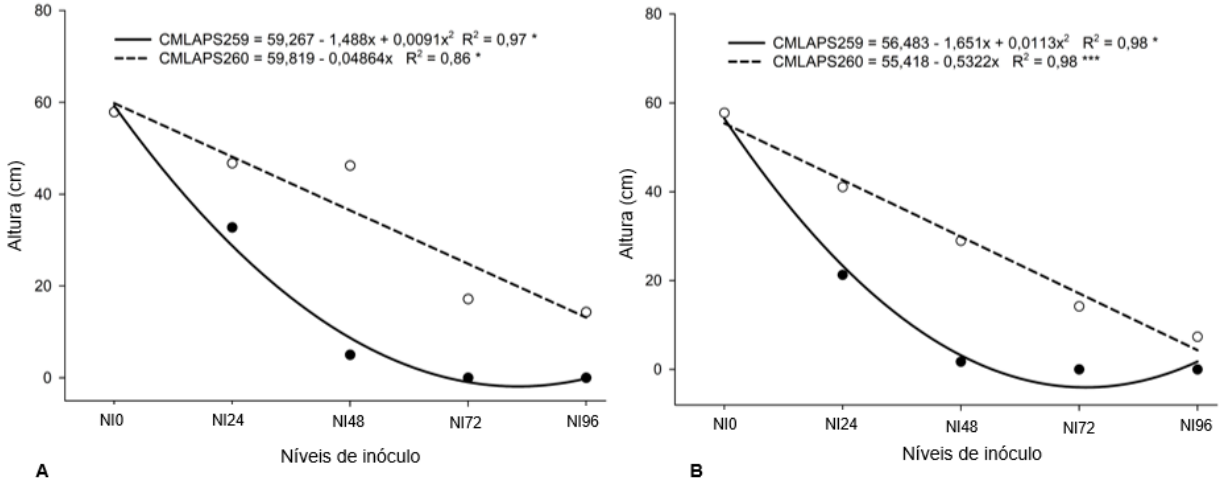


Fonte: Da autora (2025).

A altura das plantas de feijão comum foi influenciada pela interação entre isolados de *Macrophomina phaseolina*, níveis de inóculo e temperatura (Figura 6; Tabela 4). A partir de NI24, verificou-se redução na altura de plantas inoculadas com o isolado CMLAPS859 (32,75 cm a 23 °C e 21,28 cm a 27 °C), enquanto o isolado CMLAPS860 apresentou valores superiores (46,75 cm e 41,1 cm, respectivamente). Essa tendência manteve-se em NI48, quando o isolado CMLAPS859 praticamente não apresentou desenvolvimento (5,0 cm a 23 °C e 1,73 cm a 27 °C), ao passo que o isolado CMLAPS860 ainda manteve médias de 46,24 cm e 28,96 cm. Nos níveis de inóculo mais longos (NI72 e NI96), o isolado CMLAPS859 resultou em completa ausência de crescimento, enquanto o CMLAPS860 apresentou desenvolvimento, com alturas variando de 14,2 a 17,16 cm a 23 °C e de 7,35 a 14,32 cm a 27

°C. Em geral, a temperatura de 23 °C favoreceu maior crescimento em comparação a 27 °C, independentemente do isolado.

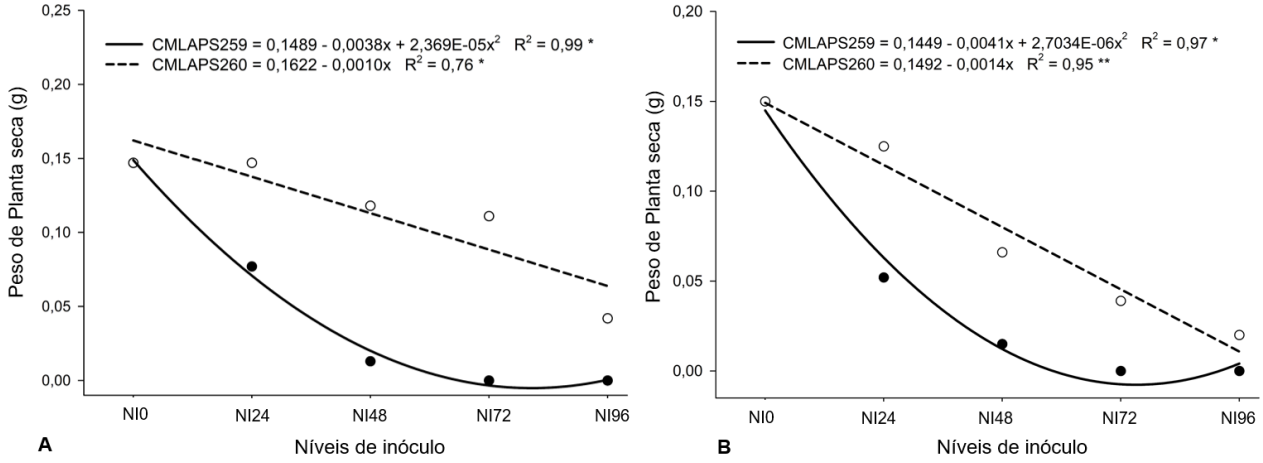
Figura 6. Altura média de plantas de feijão comum (cultivar TAA Dama) inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860), em diferentes níveis de inóculo: NI0 (0 horas), NI24 (24 horas), NI48 (48 horas), NI72 (72 horas) e NI96 (96 horas). A: cultivo a 23 °C e B: cultivo a 27 °C. Linhas representam os modelos de regressão ajustados aos dados experimentais.



Fonte: Da autora (2025).

No peso de parte aérea de planta seca, verificou-se redução progressiva com o aumento do tempo de inoculação (Figura 7). O isolado CMLAPS859, foi afetado pelo inóculo, principalmente nos níveis mais longos de inoculação (NI72 e NI96). Em contrapartida, o isolado CMLAPS860 manteve maiores valores em todos os níveis avaliados, embora também decrescentes, sendo a redução mais intensa a 27 °C em relação a 23 °C. As curvas de regressão ajustadas descreveram adequadamente essa tendência de queda com o aumento do período de inoculação.

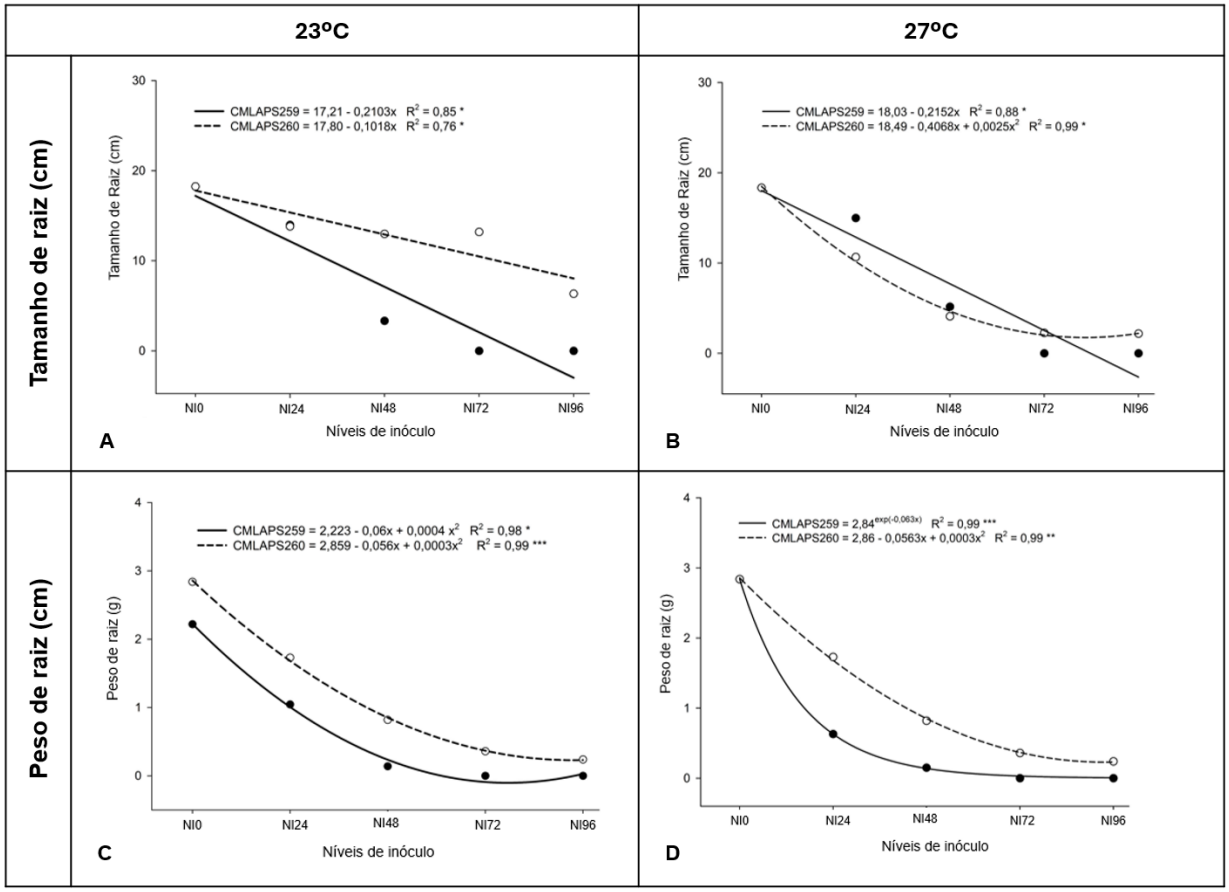
Figura 7. Peso de parte aérea de planta seca de feijão comum (cultivar TAA Dama) inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860), em diferentes níveis de inóculo: NI0 (0 horas), NI24 (24 horas), NI48 (48 horas), NI72 (72 horas) e NI96 (96 horas). A: cultivo a 23 °C e B: cultivo a 27 °C. Linhas representam os modelos de regressão ajustados aos dados experimentais.



Fonte: Da autora (2025).

De mesmo modo, o tamanho e o peso de raiz seca foram afetados desde o menor período de inoculação (Figura 8). A partir de NI24, o isolado CMLAPS859 apresentou reduções de 23,4% e 18,3% no tamanho radicular em relação à testemunha, sob 23 °C e 27 °C, respectivamente, a completa inibição do crescimento radicular nos níveis NI72 e NI96, caracterizando morte em pré-emergência, independentemente da temperatura. Para o isolado CMLAPS860, a diminuição foi de 24,3% a 23 °C e 41,9% a 27 °C em NI24, com redução progressiva do tamanho radicular ao longo dos níveis de inóculo. Esse comportamento também foi observado para o peso radicular, afetado proporcionalmente a partir do menor nível de inóculo para ambos os isolados, atingindo valores nulos para CMLAPS859 e redução gradual para CMLAPS860.

Figura 8. Tamanho e peso de raiz seca de plantas de feijão-comum (cultivar TAA Dama) inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860), em diferentes níveis de inóculo: NI0 (0 horas), NI24 (24 horas), NI48 (48 horas), NI72 (72 horas) e NI96 (96 horas). A e C: cultivo a 23 °C e B e D: cultivo a 27 °C. Linhas representam os modelos de regressão ajustados aos dados experimentais.



Fonte: Da autora (2025).

Tabela 4. Altura, peso de parte aérea de planta seca, tamanho e peso seco radicular de plantas de feijão-comum (cultivar TAA Dama) emergidas de sementes inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860), em diferentes níveis de inóculo (NI0 = 0 h; NI24 = 24 h; NI48 = 48 h; NI72 = 72 h; NI96 = 96 h), sob temperaturas de 23 °C e 27 °C. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Altura (cm)										
Isolados	NI0		NI24		NI48		NI72		NI96	
	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC
CMLAPS259	57,89 aA	57,76 aA	32,75 aA	21,28 aB	5,0 aA	1,73 aB	0,0 aA	0,0 aA	0,0 aA	0,0 aA
CMLAPS260	57,89 aA	57,76 aA	46,75 bA	41,1 bB	46,24 bA	28,96 bB	17,16 bA	14,2 bB	14,32 bA	7,35 bB
CV (%)										5,36
Peso parte aérea de planta seca (g)										
Isolados	NI0		NI24		NI48		NI72		NI96	
	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC
CMLAPS259	0,147aA	0,150 aA	0,077 aA	0,052 aB	0,013aA	0,015 aB	0,0 aA	0,0 aA	0,0 aA	0,0 aA
CMLAPS260	0,147aA	0,150 aA	0,147 bA	0,125 bB	0,118 bA	0,066 bB	0,111bA	0,039 bB	0,042 bA	0,02 bB
CV (%)										0,42
Tamanho de raiz (cm)										
Isolados	NI0		NI24		NI48		NI72		NI96	
	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC
CMLAPS859	18,25 aA	18,34 aA	13,98 aA	14,98aB	3,33 aA	5,16 aB	0,0 aA	0,0 aA	0,0 aA	0,0 aA
CMLAPS860	18,25 aA	18,34 aA	13,81aA	10,66bB	12,98 bA	4,10 bB	13,20 bA	2,26 bB	6,34 bA	2,18 bB
CV (%)										6,94
Peso de raiz seca (g)										
Isolados	NI0		NI24		NI48		NI72		NI96	
	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC
CMLAPS859	2,22 A	2,84 B	1,045 A	0,63 B	0,14 A	0,15A	0,0 A	0,0 A	0,0 A	0,0 A
CMLAPS860	2,22 A	2,84 B	1,37 A	1,73 B	0,93 A	0,82 B	0,39 A	0,36 B	0,21 A	0,24 B
CV (%)										0,74

Fonte: Da autora (2025).

Na avaliação do índice de doença (ID), não foi observada interação significativa entre os fatores isolado, níveis de inóculo e temperatura. No tratamento controle (NI0), não ocorreram sintomas, resultando em nota zero para ambas as temperaturas (23 °C e 27 °C). O isolado CMLAPS859 apresentou ID médio igual a 2 no menor período de inoculação (NI24), alcançando o valor máximo (nota 3) nos níveis NI48, NI72 e NI96, sob ambas as temperaturas. Em contraste, o isolado CMLAPS860, apresentou menores valores de ID, com notas médias de 1 para NI24 e NI48 e de 2 para NI72 e NI96, independentemente da temperatura.

Para o estudo de transmissão de *M. phaseolina* por sementes de feijão-comum, que leva em consideração plantas sintomáticas, assintomáticas e morte em pré-emergência de sementes e plântulas, sendo esta última foi influenciada pelos dois isolados utilizados e pelos níveis de inóculo (Tabela 5; Figura 9). Para o isolado CMLAPS859, os valores se elevaram a partir de menor nível de inóculo (NI24), com médias superiores a 20% nos níveis NI48, NI72 e NI96. Para o isolado CMLAPS860, a morte em pré-emergência também se elevou com o aumento do nível de inóculo, porém com médias inferiores, resultando em valores inferiores a 20% em todos os tratamentos.

Tabela 5. Morte em pré-emergência (%) de plantas de feijão comum (cultivar TAA Dama) inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860), em diferentes níveis de inóculo: NI0 (0 horas), NI24 (24 horas), NI48 (48 horas), NI72 (72 horas) e NI96 (96 horas), sob temperaturas de 23 °C e 27 °C.

Morte em Pré-emergência (%)					
Isolados	NI0	NI24	NI48	NI72	NI96
CMLAPS859	0	9,75a	21,25a	25a	25a
CMLAPS860	0	2,75b	5,25b	14,5b	16,25b
CV (%)					8,29

Fonte: Da autora (2025).

As maiores taxas de transmissão de plantas sintomáticas foram observadas nos níveis de inóculo NI24 e NI48 para ambos os isolados, independentemente da temperatura de cultivo. O isolado CMLAPS859 apresentou valores de 21% (NI24) e 14% (NI48) a 23 °C, e

de 25% (NI24) e 15% (NI48) a 27 °C, sem ocorrência de emergência de plantas a partir de NI72 em nenhuma das condições. Por sua vez, o isolado CMLAPS860 apresentou, a 23 °C, taxas de 48%, 58%, 38% e 3% nos níveis NI24, NI48, NI72 e NI96, respectivamente; enquanto a 27 °C, os valores corresponderam a 47%, 61%, 43% e 36%, na mesma sequência de níveis.

Em relação à porcentagem de plantas assintomáticas, observou-se redução progressiva com o aumento dos níveis de inóculo em ambos os isolados e temperaturas. Sob cultivo a 23 °C, o isolado CMLAPS859 apresentou 8% de plantas assintomáticas em NI24 e 3% em NI48, não sendo observadas plantas assintomáticas a partir de NI72. Para o isolado CMLAPS860, os valores foram de 15%, 8%, 5% e 3% nos níveis de NI24, NI48, NI72 e NI96, respectivamente. A 27 °C, a porcentagem de plantas assintomáticas foi ainda menor, o isolado CMLAPS859 apresentou 5% em NI24 e 2% em NI48, enquanto o CMLAPS860 apresentou 2% em NI24 e NI48, com ausência de plantas assintomáticas nos níveis superiores.

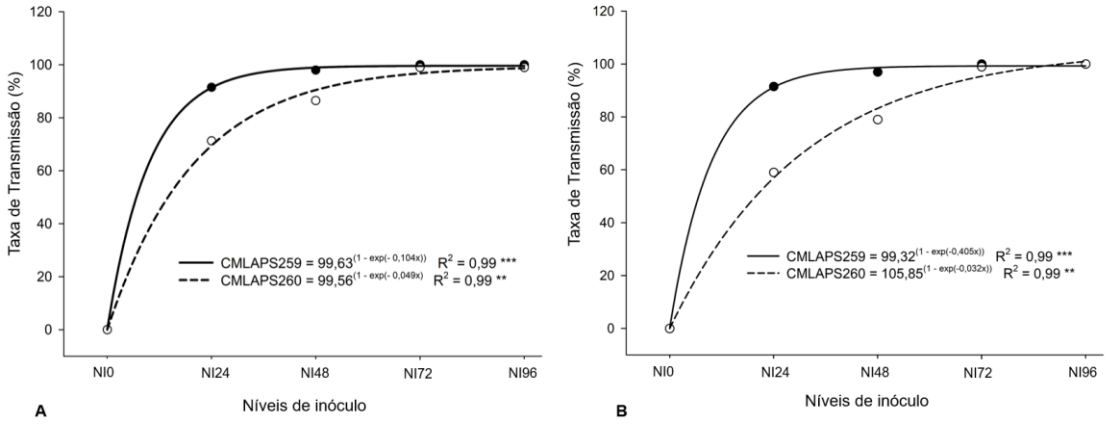
A taxa de transmissão de *M. phaseolina* aumentou progressivamente com o tempo de exposição das sementes, alcançando valores próximos de 100% a partir do NI72, independentemente da temperatura (Tabela 6; Figura 10). No menor nível de inóculo (NI24), observou-se diferença significativa entre os isolados, com o CMLAPS859 apresentando taxas superiores (91,5%) em relação ao CMLAPS860 (71,3% a 23 °C e 59,0% a 27 °C). Nos níveis subsequentes, ambos os isolados atingiram valores próximos de 100%. As curvas de regressão apresentaram ajuste exponencial com coeficientes de determinação (R^2) próximos de 0,99, indicando alto grau de correlação entre o aumento do tempo de inoculação e a transmissão do fungo.

Tabela 6. Taxa de transmissão de sementes (cultivar TAA Dama) para plantas de feijão-comum inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860), em diferentes níveis de inóculo: NI0 (0 horas), NI24 (24 horas), NI48 (48 horas), NI72 (72 horas) e NI96 (96 horas) sob temperaturas de 23 °C e 27 °C, considerando as avaliações de morte em pré-emergência e taxas de transmissão em plantas sintomáticas e assintomáticas.

	Taxa de Transmissão (%)									
Isolados	**NI0**		**NI24**		**NI48**		**NI72**		**NI96**	
	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC	23ºC	27ºC
CMLAPS859	0,0 aA	0,0 aA	91,5 aA	91,5 aA	98,0 aA	97,0 aA	100,0 aA	100,0 A	100,0 aA	100,0 aA
CMLAPS860	0,0 aA	0,0 aA	71,3 bA	59,0 bB	86,5 bA	79,0 bB	99,0 aA	99,0 A	99,0 aA	100,0 aA
CV (%)										2,25

Fonte: Da autora (2025).

Figura 10. Taxa de transmissão de sementes (cultivar TAA Dama) para plantas de feijão-comum inoculadas com dois isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMLAPS859 e CMLAPS860), em diferentes níveis de inóculo: NI0 (0 horas), NI24 (24 horas), NI48 (48 horas), NI72 (72 e NI96 (96 horas). A: cultivo a 23 °C e B: cultivo a 27 °C. Linhas representam os modelos de regressão ajustados aos dados experimentais.



Fonte: Da autora (2025).

7 DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos no teste de germinação, verificou-se que a maior porcentagem de germinação ocorreu no menor nível de inóculo (NI24), havendo uma redução progressiva da germinação à medida que o nível de inóculo aumentou. Ressalta-se que a presença de *M. phaseolina* nas sementes afetou diretamente a sua qualidade fisiológica, evidenciada pela redução significativa nas taxas de germinação. Dolas, Gawade e Kasture (2018) relataram que *M. phaseolina* promoveu os menores índices de germinação e vigor em comparação a outras espécies fúngicas, como *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus niger* e *Botrytis cinerea*, com reduções de até 55% na germinação de sementes de feijão-mungo em relação ao controle, sendo coerente com os resultados observados no presente estudo.

A avaliação da incidência de *M. phaseolina* sobre o desempenho de sementes de feijão-comum, por meio do teste de sanidade, demonstrou uma ocorrência elevada do patógeno nas sementes, com destaque para o isolado CMLAPS859. Esses resultados estão em concordância com os relatados por Gadaga *et al*. (2017), Botelho *et al*. (2013) e Guimarães *et al*. (2017), os quais demonstraram que a alta incidência de patógenos associados a sementes podem causar diversos efeitos deletérios. Além disso, Sarita e Singh (2014) relataram a

persistência de *M. phaseolina* em sementes de feijão-mungo (*Phaseolus aureus*), mesmo após um tratamento com nitrato de potássio e doze meses de armazenamento. Confirmando a capacidade de sobrevivência desse patógeno por longos períodos em sementes.

No teste de condutividade elétrica, verificou-se que o aumento do nível de inóculo resultou em elevação dos valores dos seus índices, indicando danos severos às membranas celulares e consequente redução do vigor. Tal padrão foi acentuado nos tratamentos com CMLAPS859, com os maiores níveis de inóculo (NI72 e NI96), em que os valores de CE ultrapassaram 400 $\mu S.cm^{-1}.g^{-1}$, enquanto CMLAPS860 apresentou médias de 127 $\mu S.cm^{-1}.g^{-1}$. A liberação de eletrólitos, associada à deterioração das membranas, reflete a perda da compartimentalização celular, primeiro indicativo fisiológico de sementes em processo de perda de viabilidade (SILVA *et al*., 2014; ISLAM & BORTHAKUR, 2012).

Esses danos podem ser intensificados pela ação enzimática de *M. phaseolina*, que apresenta a capacidade de produzir enzimas hidrolíticas como pectinases e lacases (MARQUEZ *et al*, 2021). Essas enzimas promovem a degradação da parede celular e da cutícula vegetal, facilitando a penetração, a colonização dos tecidos do hospedeiro e favorecendo a perda de integridade celular. Isso reflete nos altos níveis de condutividade observados (RAMOS *et al*. 2016).

Em relação ao IVE, ambos os isolados *M. phaseolina* exerceram efeito negativo sobre as plântulas. No qual, o isolado CMLAPS859 causou efeitos mais precoces e deletérios, a completa inibição da germinação. Em contrapartida, o isolado CMLAPS860 promoveu redução gradual do índice ao longo do tempo. O aumento da temperatura também influenciou negativamente o IVE, independentemente do nível de inóculo, indicando que a temperatura de 27º C favoreceu a ação do patógeno, mesmo sendo considerada ideal para desenvolvimento do feijão (PEREIRA *et al*., 2014; BERTOLDO *et al*., 2019). Resultados semelhantes foram descritos por De Souza Linhares *et al*. (2020), Bashir (2017) e Akhtar *et al*. (2011), ao demostrarem que temperaturas elevadas intensificam a severidade da doença e aceleram a velocidade de manifestação dos sintomas associados à podridão-do-carvão.

A redução do estande inicial verificada neste trabalho confirma os efeitos deletérios de *M. phaseolina* na fase inicial de desenvolvimento das plântulas de feijão. O aumento do nível de inóculo comprometeu a emergência, resultando em estandes nulos a partir do NI72, sobretudo para o isolado CMLAPS859. Tok (2019) obteve resultados semelhantes, com sintomas precoces nas folhas cotiledonares seguidos de morte rápida das plântulas infectadas, intensificados sob condições de estresse hídrico. Estudos realizados com a leguminosa

modelo *Medicago truncatula* relataram interações semelhantes, com manifestação de sintomas visíveis um dia após a inoculação e morte das plântulas em até quatro dias (Mah *et al*., 2012).

Observou-se que o estande final seguiu um padrão semelhante ao do estande inicial quanto aos efeitos causados pelos diferentes níveis de inóculo, pelos isolados e pela temperatura. O isolado CMLAPS859 resultou em estandes finais reduzidos, com completa inibição da emergência nos níveis NI72 e NI96, evidenciando o grau de severidade do patógeno e a sua capacidade de comprometer a viabilidade das plantas. Dessa forma, os valores de estande final registrados neste estudo representam não apenas uma perda direta no estabelecimento das lavouras, mas também um indicativo da facilidade de desenvolvimento deste patógeno quando transmitido via sementes.

Para as variáveis relacionadas ao desenvolvimento vegetal, verificou-se interação tripla significativa entre os fatores avaliados, afetando a altura das plantas a partir do menor nível de inóculo. As demais variáveis de crescimento, como peso da parte aérea seca, tamanho e peso radicular, também foram significativamente reduzidas. Estudos semelhantes em outros patossistemas relataram diminuições nas variáveis de crescimento, evidenciando os efeitos deletérios de patógenos transmitidos por sementes sobre o desenvolvimento de plântulas de feijão, incluindo reduções no peso da parte aérea seca e no comprimento das plântulas (Botelho *et al.*, 2013). Além disso, *M. phaseolina* interfere diretamente em processos fisiológicos, como o desenvolvimento e diferenciação de tecidos, resultando em reduções em variáveis morfológicas, como altura, peso da parte aérea e radicular e comprimento de raízes, conforme descrito por Gaige *et al.* (2010) e confirmado no presente estudo.

Compreendo o fato desse patógeno causar danos fisiológicos, análises moleculares complementares são necessárias para descrições dos mecanismos moleculares envolvidos nos efeitos deletérios causados por *M. phaseolina* na cultura do feijoeiro. Visto que, em análise transcriptômica conduzida por Mah *et al.* (2012), *M. phaseolina* foi capaz de reprimir genes associados à resposta à auxina, prejudicando vias hormonais essenciais ao crescimento e à defesa, o que contribui para a suscetibilidade do hospedeiro.

Com base nos valores obtidos para o índice de doença (ID), não foram observadas diferenças significativas entre os fatores avaliados, indicando que a severidade da infecção manteve-se estável nas diferentes combinações de temperatura, isolado e nível de inóculo. Essa homogeneidade sugere que o patógeno apresenta ampla capacidade de adaptação, mantendo seu potencial infeccioso mesmo sob condições ambientais distintas, o que evidencia

sua plasticidade ecológica e o risco epidemiológico em diferentes regiões de cultivo (BASHIR, 2017; TOK *et al*., 2018; DE SOUSA LINHARES *et al*., 2020).

No entanto, estudos em diferentes culturas reforçam que temperaturas elevadas favorecem o desenvolvimento da podridão de carvão, como observado em melão (de Sousa Linhares *et al*., 2020), grão-de-bico (SHARMA & PANDE, 2013), girassol (MANICI *et al*., 1995), amendoim (TOK *et al*., 2018) e gergelim (AKHTAR *et al*., 2011; BASHIR, 2017).

O percentual de mortes em pré-emergência de sementes e plântulas variou entre 2 e 25%, com valores mais elevados associados ao isolado CMLAPS859, enquanto o isolado CMLAPS860 apresentou menores percentuais em todos os níveis de inóculo avaliados. Esse comportamento indica que a quantidade de inóculo exerce influência direta sobre a sobrevivência inicial das plântulas, reforçando a importância do patógeno como fator limitante no estabelecimento da cultura (MUNKVOLD, 2009).

Resultados semelhantes já foram relatados em patossistemas distintos, como *Colletotrichum lindemuthianum*, *Stenocarpella maydis* e *S. macrospora*, nos quais a presença de patógenos transmitidos por sementes resultou em aumentos na mortalidade de sementes e plântulas em fase de pré-emergência, especialmente sob condições de inóculo elevado (DE SOUZA *et al*., 2015; SIQUEIRA *et al*., 2014; GADAGA *et al*., 2020). Nesse contexto, a elevada mortalidade observada em pré-emergência pode ser interpretada como uma forte evidência da infecção efetiva do patógeno nas sementes (SIQUEIRA *et al*., 2016).

As avaliações realizadas neste estudo evidenciam que *M. phaseolina* pode ser transmitido de sementes para plântulas emergidas, tanto sintomáticas quanto assintomáticas. A análise da taxa de transmissão das sementes inoculadas para as plantas de feijão-comum, revelou que o patógeno foi detectado mesmo na ausência de sintomas visuais, independentemente do nível de inóculo ou da temperatura de cultivo.

Esses resultados contrastam com os dados obtidos por Akhtar *et al*. (2011) em sementes de gergelim, nas quais, apesar da taxa de transmissão de 100% nas sementes e do impacto significativo sobre o peso de cem sementes (com redução de até 35,33% em relação à testemunha), *M. phaseolina* não foi recuperado de plantas assintomáticas. Tal divergência sugere que a dinâmica de colonização e a expressão dos sintomas podem ser influenciadas pela espécie hospedeira, pelas condições ambientais e pelas características dos isolados fúngicos.

No presente trabalho, a maior frequência de plântulas assintomáticas infectadas foi observada a 23 °C, enquanto a menor incidência ocorreu a 27 °C. Esse resultado sugere que

temperaturas mais elevadas favorecem não apenas a expressão dos sintomas, mas também a completa manifestação da doença, reduzindo a ocorrência de infecções latentes. Em contrapartida, em temperaturas mais amenas, a infecção pode permanecer em estado latente, dificultando a detecção visual da doença em condições de campo. Nesse contexto, estudos futuros, previstos no escopo desta pesquisa, incluem a aplicação de técnicas de diagnóstico molecular em plantas consideradas sadias (sem sintomas visíveis e sem crescimento fúngico detectado sob microscópio estereoscópico) a fim de confirmar a presença latente de *M. phaseolina* e, assim, ampliar o entendimento sobre a transmissão e colonização silenciosa do patógeno via semente.

8 CONCLUSÃO

Macrophomina phaseolina afeta as sementes de feijão com efeitos diretamente proporcionais ao nível de inóculo.

A taxa de transmissão de *M. phaseolina* via sementes pode atingir 100% a partir do nível de inóculo NI48.

O isolado CMLAPS859 resultou em consequências negativas para as variáveis analisadas.

A compreensão da dinâmica de transmissão de *M. phaseolina* via sementes fornece subsídios para os programas de certificação e controle de qualidade de sementes no país.

9 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. M. R. *et al. Macrophomina phaseolina* em soja. **Embrapa Soja**, n. 346, p. 55, 2014.

AKHTAR, K. P.; SARWAR, G.; ARSHAD, H. M. I. Temperature response, pathogenicity, seed infection and mutant evaluation against *Macrophomina phaseolina* causing charcoal rot disease of sesame. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 44, n. 4, p. 320–330, 2011.

ARAÚJO, D. V. *et al.* Relação entre níveis de inóculo de *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides* nas sementes e o progresso da ramulose do algodoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p. 147–151, 2006.

ARF, O. *et al.* Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L. Botucatu, SP: **FEPAF**, 2015.

ATHAYDE SOBRINHO, C. *et al.* Microrganismos associados às sementes de feijão-caupi com ênfase à presença de *Macrophomina phaseolina*. **Embrapa Meio-Norte**, n. 88, p. 1–8, 1998.

BARRET, M. *et al.* Plant microbiota affects seed transmission of phytopathogenic microorganisms. **Molecular Plant Pathology**, v. 17, n. 6, p. 791, 2016.

BASANDRAI, A. K. *et al. Macrophomina phaseolina*–host interface: Insights into an emerging dry root rot pathogen of mungbean and urdbean, and its mitigation strategies. **Plant Pathology**, v. 70, n. 6, p. 1263–1275, 2021.

BASHIR, M. R. Impact of global climate change on charcoal rot of sesame caused by *Macrophomina phaseolina*. **Journal of Horticulture**, v. 4, n. 1, p. 100–106, 2017.

BERTOLDO, J. G. *et al.* Sensibilidade de genótipos de feijão ao estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 36–50, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes.* Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: **Mapa/ACS**, p. 399, 2009a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. *Manual de análise sanitária de sementes.* Brasília: **MAPA**, p. 200, 2009b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Registro nacional de cultivares*, 2019. Disponível em: http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/index.php. Acesso em: 28 mai. 2021.

BOTELHO, L. S. *et al.* Performance of common bean seeds infected by the fungus *Sclerotinia sclerotiorum*. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 2, p. 153–160, 2013.

CAMILO, T. A.; PIETRO-SOUZA, W. Agentes bacterianos no controle *in vitro* da *Alternaria alternata* e *Macrophomina phaseolina*: fitopatógenos do feijão. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 8, p. 8687–8706, 2023.

CANALE, M. C. *et al. Pragas e doenças do feijão: diagnose, danos e estratégias de manejo.* **Boletim Técnico**, n. 197, 2020.

CARMO, H. F. *et al.* Balanço energético e pegada de carbono nos sistemas de produção integrada e convencional de feijão-comum irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1069–1077, 2016.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira.* Brasília: **CONAB**, 2024. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/grãos. Acesso em: 10 jan. 2024.

CUBERO, J. *et al.* New approaches to plant pathogen detection and disease diagnosis. **Phytopathology**, v. 114, n. 9, p. 1989–2006, 2024.

DA SILVA, R. N. O. *et al.* Métodos de inoculação de *Rhizoctonia bataticola* Taub., *Macrophomina phaseolina* Tassi Goid, em sementes de feijão. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 4, p. 7–11, 2016.

DARRASSE, A. *et al.* Contamination of bean seeds by *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* associated with low bacterial densities in the phyllosphere under field and greenhouse conditions. **European Journal of Plant Pathology**, v. 119, p. 203–215, 2007.

DARRASSE, A. *et al.* Transmission of plant-pathogenic bacteria by nonhost seeds without induction of an associated defense reaction at emergence. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 76, n. 20, p. 6787–6796, 2010.

DE SOUSA, M. V. *et al.* Real-time quantitative PCR assays for the rapid detection and quantification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* in *Phaseolus vulgaris* (common bean) seeds. **Plant Pathology**, v. 64, n. 2, p. 478–488, 2015.

DE SOUSA LINHARES, C. M. *et al.* Effect of temperature on disease severity of charcoal rot of melons caused by *Macrophomina phaseolina*: implications for selection of resistance sources. **European Journal of Plant Pathology**, v. 158, p. 431–441, 2020. DOI: 10.1007/s10658-020-02083-w.

DICKSON, M. H.; BOETTGER, M. A. Breeding for multiple root rot resistance in snap beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 102, n. 4, p. 373–377, 1977.

FRANÇA, S. K. S. D. *et al.* Quantification and conceptual validation of the inoculum potential of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean and bean seeds. **Journal of Seed Science**, v. 43, p. e202143022, 2021.

FERREIRA, C. M.; BARRIGOSSI, J. A. F. *Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar.* **Embrapa Arroz e Feijão**, p. 164, 2021.

FERREIRA, D. S. *et al.* Ocorrência de fungos em sementes de feijão 'Red Mexican' e seu efeito na germinação. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 4, 2017.

FREITAS, R. A. *Patologia de sementes de feijão.* Lavras: **UFLA**, 2005. Disponível em: http://www.patologiadesementes.com.br. Acesso em: 4 fev. 2024.

GADAGA, S. J. C.; SIQUEIRA, C. S.; MACHADO, J. C. *et al.* Transmission potential of *Colletotrichum lindemuthianum* (race 65) in association with bean seeds under controlled conditions. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 42, e202042025, 2020.

GAIGE, A. R.; AYELLA, A.; SHUAI, B. Methyl jasmonate and ethylene induce partial resistance in *Medicago truncatula* against the charcoal rot pathogen *Macrophomina phaseolina*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 74, p. 412–418, 2010. DOI: 10.1016/j.pmpp.2010.07.001.

GUIMARÃES, M. R. F. *et al.* Evaluation of inoculum potential of pathogens in seeds: relation to physiological quality and DNA quantification by qPCR. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 3, p. 224–233, 2017. https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n3163901

GONZALEZ, A. P. *Cirurgia verde: conquiste a saúde pela alimentação à base de plantas.* São Paulo: **Editora Alaúde**, p. 517, 2017.

GROVES, C. *et al.* Seed transmission of *Soybean vein necrosis virus*: the first *Tospovirus* implicated in seed transmission. **PLoS One**, v. 11, n. 1, p. e0147342, 2016.

ISHIKAWA, M. S. *et al.* Seleção de cultivares de soja para resistência à podridão negra da raiz (*Macrophomina phaseolina*). **Summa Phytopathologica**, v. 44, n. 1, p. 38–44, 2018.

ISLAM, N. F.; BORTHAKUR, S. K. Screening of mycota associated with Aijung rice seed and their effects on seed germination and seedling vigour. **Plant Pathology Quarantine**, v. 2, n. 1, p. 75–85, 2012.

KING, L. A. *et al.* Outbreak of Shiga toxin–producing *Escherichia coli* O104:H4 associated with organic fenugreek sprouts, France, June 2011. **Clinical Infectious Diseases**, v. 54, n. 11, p. 1588–1594, 2012.

JÚNIOR, J. E. A. B.; BARGUIL, B. M. *Feijão-fava: doenças virais e fúngicas.* **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 27, p. 138–153, 2021.

KARAVIDAS, I. *et al.* Agronomic practices to increase the yield and quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): a systematic review. **Agronomy**, v. 12, n. 2, p. 271, 2022.

KRZYZANOWSKI, F. C. *et al. Vigor de sementes: conceitos e testes.* Londrina: **Abrates**, 2020.

KELLY, J. D. *The story of bean breeding.* Michigan: **Michigan University**, p. 1–3, 2010.

LEAL, F. T. *et al.* Selection of common bean cultivars for the irrigated production system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 11, p. 882–891, 2023. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n11p882-891

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

MACHADO, J. C. *Patologia de sementes: fundamentos e aplicações.* Lavras: **MEC: ESAL: FAEPE**, p. 107, 1988.

MACHADO, J. C. *et al.* Methodology for infecting seeds by fungi using water restriction technique. In: **International Seed Testing Congress – Seed Symposium**, Angers: ISTA, v. 26, p. 62, 2001.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination–aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, p. 176–177, 1962.

MAH, K. M. *et al.* Gene expression profiling of *Macrophomina phaseolina*-infected *Medicago truncatula* roots reveals a role for auxin in plant tolerance against the charcoal rot pathogen. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 79, p. 21–30, 2012. DOI: 10.1016/j.pmpp.2012.03.004.

MCKINNEY, H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 26, n. 3, p. 195–217, 1923.

MARCUZZO, L. L. *et al.* Curvas temporais da queima das folhas da cenoura em diferentes programas de aplicação de fungicida. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 5, p. 1–4, 2021.

MANICI, L. M.; CAPUTO, F.; CERATO, C. Temperature responses of isolates of *Macrophomina phaseolina* from different climatic regions of sunflower production in Italy. **Plant Disease**, v. 79, p. 834–838, 1995.

MARINO, R. H. *et al.* Incidência de fungos em sementes de *Phaseolus vulgaris* L. provenientes do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 26–30, 2008.

MARQUEZ, N. *et al. Macrophomina phaseolina*: General characteristics of pathogenicity and methods of control. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 634397, 2021.

MELO, L. C. *et al.* Avanços genéticos no feijoeiro-comum no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 12, p. 1029–1039, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200001.

MICHEL, B. E.; RADCLIFFE, D. A computer program relating solute potential to solution composition for five solutes. **Agronomy Journal**, v. 87, n. 1, p. 131–136, 1995.

MOTA, J. M. *et al.* Transmission of *Colletotrichum truncatum* and *Macrophomina phaseolina* by lima bean seeds. **Summa Phytopathologica**, v. 45, p. 33–37, 2019.

MUNKVOLD, G. P. Seed pathology: progress and prospects. **Annual Review of Phytopathology**, v. 47, p. 285–311, 2009. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081932

NASERI, B. Charcoal rot of bean in diverse cropping systems and soil environments. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 121, n. 1, p. 20–25, 2014.

NEERGAARD, P. *Seed pathology.* London: **Macmillan Press**, p. 538, 1979.

ORTIZ, V. *et al.* Population genomic analysis reveals geographic structure and climatic diversification for *Macrophomina phaseolina* isolated from soybean and dry bean across the United States, Puerto Rico, and Colombia. **Frontiers in Genetics**, v. 14, p. 1103969, 2023.

PANDEY, A. K. *et al.* Morphological and molecular characterization of *Macrophomina phaseolina* isolated from three legume crops and evaluation of mungbean genotypes for resistance to dry root rot. **Crop Protection**, v. 127, p. 104962, 2020. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.104962.

PEDROZO, R. *et al.* Transmission and effects of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* on cotton seeds. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 20, p. 1815–1823, 2016.

PEREIRA, V. G. C. *et al.* Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 32–42, 2014.

PORTO, M. A. F. *et al.* Interaction of *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani* as root rot pathogens of *Cucumis melo*. **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 4, p. 355–360, 2020.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing.* Vienna: **R Foundation for Statistical Computing**, 2025. Disponível em: https://www.r-project.org/. Acesso em: 27 set. 2025.

RAMOS, A. M. *et al. In vitro* growth and cell wall degrading enzyme production by Argentinean isolates of *Macrophomina phaseolina*, the causative agent of charcoal rot in corn. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 48, n. 4, p. 267–273, 2016.

DOLAS, R. M.; GAWADE, S. B.; KASTURE, M. C. Studies of seed-borne mycoflora of mungbean and its effect on seed germination and seedling vigour index. **International Journal of Chemical Studies**, v. 6, n. 5, p. 802–806, 2018.

RAYATPANAH, S.; DALILI, S. A.; YASARI, E. Diversity of *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. based on chlorate phenotypes and pathogenicity. **International Journal of Biology**, v. 4, n. 2, p. 54, 2012.

SALES JÚNIOR, R. *et al.* Patogenicidade de espécies de *Macrophomina* coletadas de plantas daninhas em feijão-caupi. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 395–401, 2020.

SANTOS, P. L. dos. *Manejo de Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com óleos essenciais e antagonistas. p. 71, 2018.

SARITA, B. A. K.; SINGH, R. Study of seed-borne mycoflora of mungbean treated with potassium nitrate during storage. **Journal of Advanced and Applied Science Research**, v. 5, p. 11–13, 2014.

SCHWARTZ, H. F.; PASTOR-CORRALES, M. A. *Bean production problems in the tropics* (eds.). Colômbia: **Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)**, p. 655–725, 1989.

SHADE, A. *et al.* Ecological patterns of seed microbiome diversity, transmission, and assembly. **Current Opinion in Microbiology**, v. 37, p. 15–22, 2017.

SHARMA, M.; PANDE, S. Unravelling effects of temperature and soil moisture stress response on development of dry root rot [*Rhizoctonia bataticola* (Taub.) Butler] in chickpea. **American Journal of Plant Sciences**, v. 4, p. 584–589, 2013.

SILVA, R. A.; LIMA, J. C.; SILVA, L. P.; OLIVEIRA, M. S. Influência de épocas de semeadura na produtividade do feijão-comum no Brasil Central. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 17, n. 1, p. 105–114, 2023. https://doi.org/10.7127/rbai.v17n1001698

SILVA, V. N. *et al.* Condução do teste de condutividade elétrica utilizando partes de sementes de feijão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 206–213, 2014.

SIMONIN, M. *et al.* Seed microbiota revealed by a large-scale meta-analysis including 50 plant species. **New Phytologist**, v. 234, n. 4, p. 1448–1463, 2022.

SIQUEIRA, C. S. *et al.* Potential for transmission of *Stenocarpella macrospora* from inoculated seeds to maize plants grown under controlled conditions. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 2, p. 154–161, 2014.

SIQUEIRA, C. S. *et al.* Transmission of *Stenocarpella maydis* by maize seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 393–400, 2016.

SQUIRES, V. R.; GAUR, M. K. *Food security and land use change under conditions of climatic variability.* Cham: **Springer International Publishing**, 2020.

TANČIĆ ŽIVANOV, S. *et al.* Analysis of genetic diversity among *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. isolates from Euro-Asian countries. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 126, p. 565–573, 2019.

TEIXEIRA, H.; MACHADO, J. C. Transmissibility and effect of *Acremonium strictum* in maize seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 1045–1052, 2003.

TOK, F. M. Relationship between morphologic, phenotypic and pathogenic characteristics in *Macrophomina phaseolina* isolates from cucumber plants. **International Journal of Innovative Approaches in Agricultural Research**, v. 3, p. 651–660, 2019.

TOK, F. M.; DERVIS, S.; ARSLAN, M. Host selective virulence, temperature response and genetic diversity in *Macrophomina phaseolina* isolates from sesame and peanut in southern Turkey. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 27, p. 7374–7380, 2018.

TOMAZI, Y. *et al.* Métodos de assepsia em sementes de feijão. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 2, p. 229–237, 2019.

UNITED NATIONS. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.* New York: **United Nations**, 2015. Disponível em: https://sdgs.un.org/2030agenda. Acesso em: 27 set. 2025.

WATANABE, T. *et al.* Populations of *Macrophomina phaseolina* in soil as affected by fumigation and cropping. **Phytopathology**, v. 60, n. 12, p. 1717–1719, 1970.

WELLER, D. M. *et al.* Colonization and distribution of *Xanthomonas phaseoli* and *Xanthomonas phaseoli* var. *fuscans* in field-grown navy beans. **Phytopathology**, v. 70, n. 6, p. 500–506, 1980.

WENDLAND, A.; LOBO JÚNIOR, M.; FARIA, J. C. *Manual de identificação das principais doenças do feijoeiro-comum.* Goiânia: **Embrapa Arroz e Feijão**, p. 49, 2018.

ZANELLA, E. J. *et al.* Charcoal rot severity and yield components of common bean cultivars inoculated with *Macrophomina phaseolina*. **Summa Phytopathologica**, v. 46, p. 299–304, 2020.