

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

PÂMELA VANESSA SCORTEGAGNA

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA À MANCHA ANGULAR EM PLANTAS DE FEIJÃO

PONTA GROSSA
2026

PÂMELA VANESSA SCORTEGAGNA

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA À MANCHA ANGULAR EM PLANTAS DE FEIJÃO

Tese de Doutorado apresentada à banca de defesa, como requisito obrigatório do Programa de Pós-Graduação em Agronomia para obtenção do título de Doutora.

Área de Concentração: Agricultura.

Linha de Pesquisa: Manejo Fitossanitário.

Orientadora: Prof^ª Dr^a Maristella Dalla Pria

Ponta Grossa
2026

S423 Scortegagna, Pâmela Vanessa
Indução de resistência à mancha angular em plantas de feijão / Pâmela
Vanessa Scortegagna. Ponta Grossa, 2026.
136 f.

Tese (Doutorado em Agronomia - Área de Concentração: Fitotecnia e
Fitossanidade), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Maristella Dalla Pria.

1. Feijão - Doenças e pragas. 2. Mancha angular do feijoeiro. 3. Phaseolus
vulgaris. 4. Enzimas vegetais. 5. Pseudocercospora griseola. I. Dalla Pria,
Maristella. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Fitotecnia e Fitossanidade.
III.T.

CDD: 632.4



PÂMELA VANESSA SCORTEGAGNA

“INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA À MANCHA ANGULAR EM PLANTAS DE FEIJÃO”.

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Agronomia na Universidade Estadual de Ponta
Grossa. Área: Fitotecnia e Fitossanidade.

Ponta Grossa, 16 de março de 2026.

Documento assinado digitalmente
 **MARISTELLA DALLA PRIA**
Data: 16/03/2026 18:22:53-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. Maristella Dalla Pria
Doutora em Agronomia
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Documento assinado digitalmente
 **ORCIAL CEOLIN BORTOLOTTI**
Data: 18/03/2026 08:09:07-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Orcial Ceolin Bortolotto
Doutor em Agronomia
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Documento assinado digitalmente
 **GILIARDI DALAZEN**
Data: 17/03/2026 10:33:23-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Giliardi Dalazen
Doutor em Fitotecnia
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Documento assinado digitalmente
 **AMANDA REGINA GODOY BAPTISTÃO**
Data: 16/03/2026 17:33:40-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profa. Dra. Amanda Regina Godoy Baptistão
Doutora em Agronomia
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO BARRETO DA SILVA**
Data: 18/03/2026 06:13:47-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Barreto da Silva
Doutor em Fitopatologia
Universidade Federal do Espírito Santo

A todos que estiveram ao meu lado e nunca deixaram de acreditar em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela constância em toda minha vida.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa, ao curso de Agronomia, à Pós-graduação em Agronomia, aos professores e funcionários, pelos conhecimentos e oportunidades a mim concedidos durante minha Graduação, Mestrado e Doutorado.

À CAPES pela concessão de bolsa de auxílio durante o período de realização do Doutorado e Doutorado-Sanduíche – PDSE (Código de Financiamento 001).

À Fazenda Escola Capão da Onça, pela área, insumos, maquinários e funcionários disponibilizados para a realização de parte dessa pesquisa em campo.

À Universidade de Aveiro e seu Departamento de Química, pela estrutura, equipamentos e materiais cedidos para realização do meu projeto de Doutorado-Sanduíche.

À Professora Dra. Maristella Dalla Pria, minha orientadora, pela amizade, confiança, paciência e oportunidades a mim concedidas na realização desse trabalho e na minha formação como profissional.

À Professora Dra. Diana Cláudia Pinto, minha supervisora na Universidade de Aveiro, pela confiança e disponibilidade em me receber em Aveiro, além de proporcionar tudo aquilo que foi necessário para a realização da minha pesquisa em Portugal.

À Dra. Ângela Cunha, Dra. Angélica Rocha, Dra. Mónica Valega e às doutorandas Ana Carolina Veríssimo e Natasha Magni por todo o auxílio em minha pesquisa desenvolvida na Universidade de Aveiro.

À Dra. Luciane Hennemberg, técnica dos laboratórios de Fitotecnia e Fitossanidade, por toda a ajuda técnica e pelas palavras de conforto durante os últimos anos.

Às empresas Innova Agrotecnologia, Alltech Crop Science Brasil e Extrato Pirolenhoso do Brasil pelo fornecimento de produtos para a realização dessa pesquisa.

À minha mãe, Selma Scortegagna, por todo o amor, suporte e incentivo durante toda a minha vida. Obrigada por acreditar na educação e ter transmitido a importância dela em minha vida.

Ao meu pai, Ademir Scortegagna, de quem herdo o amor pela agricultura, agradeço por tudo, por acreditar em mim e me incentivar durante toda minha vida

Aos meus irmãos, Tiago e Paola, que fazem parte de mim não apenas como família, mas como exemplos de pessoas corretas e profissionais éticos e dedicados.

À João Vitor de Araujo, pelo amor, companheirismo e suporte constantes. E pela sua disposição em enfrentar o medo de avião e o desconhecido para atravessar o oceano e estar junto a mim durante 89 dias em Portugal.

Aos meus sogros, Rosani e Geraldo, que me receberam de braços abertos e se tornaram também minha família.

À minha madrinha, Raquel Franco, minha primeira professora, que me ensinou a ler e escrever, além de sempre me incentivar e me dar todo o carinho do mundo.

À Pró-Reitoria de Planejamento, enquanto meu local de trabalho nos últimos meses, e à sua equipe que me auxiliou em diversos momentos da minha vida dupla como estudante e funcionária da UEPG.

À Polyana Christmann Rinaldi, que abriu o caminho para essa pesquisa e que nunca deixou de me auxiliar na graduação e pós-graduação, além de ser uma amiga incrível em todos esses anos.

Aos companheiros de Pós-Graduação: Henrique e Jennifer, por todas as contribuições a essa pesquisa.

Aos alunos do curso de Agronomia: Giovana Gumy, Lucas Petrech, João Vitor Lemes, Isadora Borcoski Costa, Kauane Duarte, Natália Penteado, Ana Carolina da Maia e Lorena Mayse, que contribuíram ativamente na construção dessa pesquisa e foram cobaias nessa louca jornada, na qual pude ensinar e aprender com vocês. Obrigada.

Aos meus amigos: Aline Brizola, Heverton Mello, Angelica Ribeiro, Nátally Bentivoglio, Felipe Padilha, André Denega e todos aqueles que de certa forma fizeram parte dessa jornada, mas que não foram aqui citados, agradeço imensamente.

“O conhecimento é como asas para a vida do homem;
é como uma escada pela qual ele possa ascender.”

(Bahá'u'lláh)

RESUMO

SCORTEGAGNA, P.V. **Indução de resistência à mancha angular em plantas de feijão.** Orientadora: Maristella Dalla Pria. Ponta Grossa, 2026. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2026.

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é uma cultura de grande importância socioeconômica no Brasil, cuja produtividade pode ser afetada pela ação de doenças, em especial a mancha angular, causada por *Pseudocercospora griseola*. Considerando a necessidade de estratégias mais sustentáveis de manejo, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes produtos como indutores de resistência no manejo da doença, bem como investigar respostas bioquímicas e metabólicas associadas à indução de resistência em feijão. Foram avaliados metabólitos de *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma endophyticum*, *Trichoderma lentiforme* e *Pycnoporus sanguineus*, extrato pirolenhoso, fertilizante mananoligossacarídeo (AGROMOS®), produto de fermentação microbiana à base de *Saccharomyces cerevisiae*, acibenzolar-S-metílico (Bion®), fungicida azoxistrobina + ciproconazol (Amistar Top®) e testemunha (água destilada e esterilizada), em experimentos conduzidos *in vitro*, em casa de vegetação e em campo, utilizando as cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru. No experimento *in vitro*, os produtos foram incorporados ao meio de cultura fundente, avaliando-se o Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) e a esporulação do patógeno. Nos experimentos *in vivo*, os produtos foram aplicados via pulverização foliar, sendo a severidade da mancha angular avaliada por escala diagramática e calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). As análises bioquímicas para a indução de resistência envolveram a quantificação da atividade de peroxidase e da polifenoloxidase em diferentes tempos após a aplicação dos tratamentos via foliar ou sementes nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, com ou sem a inoculação do patógeno. Houve também a avaliação do acúmulo de faseolina em hipocótilos de feijão, de ambas as cultivares citadas anteriormente, com e sem inoculação do patógeno. De modo geral, a aplicação foliar não induziu as enzimas avaliadas, enquanto o tratamento de sementes com *Trichoderma* spp. influenciou a atividade de peroxidase na cultivar IPR-Curió na presença do patógeno. A caracterização fitoquímica por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS) demonstrou alterações metabólicas em plântulas oriundas de sementes das cultivares IPR Curió e IPR-Uirapuru, tratadas com os produtos citados. Houve variações entre as cultivares, especialmente quanto aos ácidos graxos insaturados. De forma geral, os resultados indicam que os produtos alternativos podem promover ajustes metabólicos compatíveis com mecanismos associados à indução de resistência, dependentes do genótipo e das condições experimentais.

Palavras-chave: Enzimas; Metabolismo secundário; *Phaseolus vulgaris*; Produtos alternativos; *Pseudocercospora griseola*.

ABSTRACT

SCORTEGAGNA, P.V. **Induction of resistance to angular leaf spot in common bean plants.** Advisor: Maristella Dalla Pria. Ponta Grossa, 2026. Thesis (Phd in Agronomy) – State University of Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2026.

Common bean (*Phaseolus vulgaris*) is a crop of major socioeconomic importance in Brazil, and its productivity can be significantly affected by diseases, particularly angular leaf spot, caused by *Pseudocercospora griseola*. Given the need for more sustainable management strategies, this study aimed to evaluate the effectiveness of different products as resistance inducers in disease management, as well as to investigate the biochemical and metabolic responses associated with induced resistance in bean plants. Metabolites from *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma endophyticum*, *Trichoderma lentiforme*, and *Pycnoporus sanguineus* were tested, along with pyroligneous extract, a mannan oligosaccharide-based fertilizer (AGROMOS[®]), a microbial fermentation product based on *Saccharomyces cerevisiae*, acibenzolar-S-methyl (Bion[®]), the fungicide azoxystrobin + cyproconazole (Amistar Top[®]), and a control treatment (distilled and sterilized water). Experiments were conducted in vitro, in a greenhouse, and under field conditions, using the cultivars IPR-Curió and IPR-Uirapuru. In the in vitro assays, the products were incorporated into the culture medium, and the mycelial growth rate index (MGRI) and pathogen sporulation were evaluated. In the in vivo experiments, treatments were applied by foliar spraying, and disease severity was assessed using a diagrammatic scale, with the area under the disease progress curve (AUDPC) subsequently calculated. Biochemical analyses focused on resistance induction by measuring peroxidase and polyphenol oxidase activity at different time points after treatment application, either via foliar spray or seed treatment, in both cultivars, with and without pathogen inoculation. Phaseolin accumulation in bean hypocotyls was also evaluated under the same conditions. Overall, foliar applications did not induce the enzymes assessed, whereas seed treatment with *Trichoderma* spp. influenced peroxidase activity in the IPR-Curió cultivar in the presence of the pathogen. Phytochemical characterization using gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS) revealed metabolic changes in seedlings grown from treated seeds of both cultivars. Differences between cultivars were observed, particularly in relation to unsaturated fatty acids. In general, the results suggest that alternative products can promote metabolic adjustments consistent with mechanisms associated with induced resistance, depending on the genotype and experimental conditions.

Keywords: Enzymes; Secondary metabolism; *Phaseolus vulgaris*; Alternative products; *Pseudocercospora griseola*.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 –	Sintomas de mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) em face abaxial (A) e adaxial (B) de folha de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	22
FIGURA 1.2 –	Colônias de <i>Pseudocercospora griseola</i> cultivadas <i>in vitro</i> com 1 (A) e 14 (B) dias de incubação; sinêmios em lesão de mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) na face abaxial de folha de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) (C); feixe de conidióforos reunido em sinêmio visto no microscópico ótico objetiva 40x (D); Conídios observados em microscópico ótico objetiva 40x (E).....	23
FIGURA 1.3 –	Esquema do fluxo metabólico em plantas, ilustrando a produção de metabólitos a partir de fatores ambientais.....	29
FIGURA 2.1 –	Colônias de <i>Pseudocercospora griseola</i> repicadas por suspensão de esporos em meio aveia <i>in vitro</i>	49
FIGURA 2.2 –	Esquema de preparação dos metabólitos de fungos sapróbios. A – Extração dos discos de micélio dos fungos sapróbios; B – transferência para meio líquido batata-dextrose; C – agitação e fermentação dos fungos sapróbios na ausência de luz; D – filtração dos meios com as colônias dos fungos; E – esterilização para obtenção dos metabólitos termoestáveis.....	49
FIGURA 2.3 –	Escala diagramática para a avaliação da severidade (porcentagem de área foliar coberta por sintomas) de mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	52
FIGURA 2.4 –	Escala diagramática para a avaliação da severidade (porcentagem de área foliar coberta por sintomas) de antracnose (<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>) em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	55
FIGURA 2.5 –	Dados meteorológicos diários de precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar durante o período de condução do experimento de 2024 com a cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) no manejo da mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) na Fazenda Escola Capão da Onça – FESCON.....	55
FIGURA 2.6 –	Dados meteorológicos diários de precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar durante o período de condução do experimento de 2025 com a cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) no manejo da mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) na Fazenda Escola Capão da Onça – FESCON.....	56
FIGURA 2.7 –	Severidade de mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) na cultivar de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) IPR-Curió em casa de vegetação. Ponta Grossa – PR, 2023.....	61
FIGURA 2.8 –	Severidade de mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) na cultivar de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) IPR-Uirapuru em casa de vegetação. Ponta Grossa – PR, 2023.....	62

FIGURA 2.9 –	Severidade (%) de mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) nas cultivares de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) IPR-Curió e IPR-Uirapuru em condições de campo, na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.....	65
FIGURA 2.10 –	Severidade de antracnose (<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>) nas cultivares de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) IPR-Curió e IPR-Uirapuru em condições de campo, na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.....	68
FIGURA 2.11 –	Curvas de severidade de mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) nas cultivares de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) IPR Curió e IPR Uirapuru em condições de campo, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.....	72
FIGURA 2.12 –	Severidade (%) de antracnose (<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>) nas cultivares de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) IPR-Curió (A) e IPR-Uirapuru (B) em condições de campo, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.....	74
FIGURA 3.1 –	Esquema de execução do experimento visando a coleta de plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) com inoculação do patógeno (<i>Pseudocercospora griseola</i>) para análise enzimática.....	86
FIGURA 3.2 –	Esquema de execução do experimento de tratamento de sementes, visando a coleta de plântulas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) para análise enzimática. DAE – Dias após a emergência.....	87
FIGURA 4.1 –	Cromatograma da análise por GCMS (Cromatografia gasosa e espectrometria de massas). Aveiro – Portugal, 2024.....	113
FIGURA 4.2 –	Curvas de calibração dos compostos Palmitic acid (A), Stearic acid (B), Oleic acid (C) e α -Linolenic acid (D), Glycerol (E), 1-Monopalmitin (F), β -Sitosterol (G), Citric acid (H), Galactose (I), obtidas a partir da razão AC/API (área do composto/área do padrão interno) e das CC (concentração do composto) analisadas por GC-MS. Aveiro – Portugal, 2024.....	117
FIGURA 4.4 –	Concentrações de ácido palmítico (Palmitic acid) obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.....	118
FIGURA 4.5 –	Concentrações de ácido esteárico (Stearic acid) obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.....	119
FIGURA 4.6 –	Concentrações de ácido oleico (Oleic acid) obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.....	120
FIGURA 4.7 –	Concentrações de ácido α -Linolênico (α -Linolenic acid) obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.....	120
FIGURA 4.8 –	Concentrações de glicerol (Glycerol) obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.....	124
FIGURA 4.9 –	Concentrações de 1-Monopalmitin obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.....	124

FIGURA 4.10 – Concentrações de esteróis totais obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.....	126
FIGURA 4.11 – Concentrações de terpenoides totais obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR Uirapuru-em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.....	127
FIGURA 4.12 – Concentrações de aminoácidos totais obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.....	128

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 –	Estádios fenológicos da cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	20
TABELA 2.1 –	Tratamentos e suas respectivas concentrações utilizados nos experimentos <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> . Ponta Grossa/PR, 2026.....	48
TABELA 2.2 –	Aplicações dos tratamentos, avaliações de severidade da mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) e outros dados relacionados ao cultivo em campo de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) nas safras de 2024 e 2025. Ponta Grossa/PR, 2026.....	53
TABELA 2.3 –	Índice de velocidade de crescimento micelial (IVMC) e esporulação (nº de esporos mL ⁻¹ 10 ⁶) de colônias de <i>Pseudocercospora griseola</i> desenvolvidas em meio de cultura contendo diferentes tratamentos, em duas repetições do experimento. Ponta Grossa – PR, 2024.....	57
TABELA 2.4 –	Área abaixo da curva de progresso da doença para mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) em feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em casa de vegetação. Ponta Grossa – PR, 2023.....	59
TABELA 2.5 –	Área abaixo da curva de progresso da doença para manejo da mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) em feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em condições de campo, na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.....	63
TABELA 2.6 –	Área abaixo da curva de progresso da antracnose (<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>) em feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em condições de campo, na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.....	66
TABELA 2.7 –	Altura de plantas (cm) e componentes de rendimento: plantas por metro, vagens por planta, grãos por vagem e peso de mil grãos (g), em função dos tratamentos aplicados para manejo da mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) nas cultivares de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) IPR-Curió e IPR-Uirapuru, na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.....	69
TABELA 2.8 –	Produtividade (Kg ha ⁻¹) em função dos tratamentos aplicados nas cultivares de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) IPR Curió e IPR-Uirapuru, para manejo da mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.....	69
TABELA 2.9 –	Área abaixo da curva de progresso da doença para manejo da mancha angular (<i>Pseudocercospora griseola</i>) em feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), nas cultivares IPR Curió e IPR Uirapuru em condições de campo, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.....	70
TABELA 2.10 –	Área abaixo da curva de progresso da antracnose (<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>) em feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em condições de campo, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.....	73

TABELA 2.11 – Altura de plantas (cm) e componentes de rendimento: plantas por metro, vagens por planta, grãos por vagem e peso de mil grãos (g), em função dos tratamentos aplicados nas cultivares de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) IPR-Curió e IPR-Uirapuru, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.....	75
TABELA 2.12 – Produtividade (kg ha ⁻¹) em função dos tratamentos aplicados nas cultivares de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) IPR-Curió e IPR-Uirapuru, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.....	75
TABELA 3.1 – Tratamentos e suas respectivas concentrações de produtos utilizados para análise da atividade das enzimas em feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Ponta Grossa – PR, 2024.....	85
TABELA 3.2 – Acúmulo de peroxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g ⁻¹ .pf), em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) da cultivar IPR-Curió após a aplicação dos tratamentos e inoculação do fungo <i>Pseudocercospora griseola</i> , em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2024.....	90
TABELA 3.3 – Acúmulo de peroxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g ⁻¹ .pf), em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) da cultivar IPR-Uirapuru após a aplicação dos tratamentos e inoculação do fungo <i>Pseudocercospora griseola</i> , em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2024.....	91
TABELA 3.4 – Acúmulo de peroxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g ⁻¹ .pf), em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) da cultivar IPR-Curió após a aplicação dos tratamentos em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2024.....	92
TABELA 3.5 – Acúmulo de peroxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g ⁻¹ .pf), em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) da cultivar IPR-Uirapuru após a aplicação dos tratamentos em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2024.....	92
TABELA 3.6 – Acúmulo de peroxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g ⁻¹ .pf), em plântulas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) provenientes de sementes tratadas, das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, com e sem inoculação de <i>Pseudocercospora griseola</i> . Ponta Grossa – PR, 2024.....	94
TABELA 3.7 – Acúmulo de polifenoloxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (Δ ABS g ⁻¹ .pf), em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) da cultivar IPR-Curió após a aplicação dos tratamentos e inoculação do fungo <i>Pseudocercospora griseola</i> , em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2025.....	95
TABELA 3.8 – Acúmulo de polifenoloxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (Δ ABS g ⁻¹ .pf), em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) da cultivar IPR-Uirapuru após a aplicação dos tratamentos e inoculação do fungo <i>Pseudocercospora griseola</i> , em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2025.....	96

TABELA 3.9–	Acúmulo de polifenoloxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\Delta\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$), em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) da cultivar IPR-Curió após a aplicação dos tratamentos em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2025.....	97
TABELA 3.10–	Acúmulo de polifenoloxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\Delta\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$), em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) da cultivar IPR-Uirapuru após a aplicação dos tratamentos em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2025.....	97
TABELA 3.11–	Acúmulo de polifenoloxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\Delta\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$), em plântulas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) provenientes de sementes tratadas, das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru. Ponta Grossa – PR, 2025.....	98
TABELA 3.12–	Acúmulo de fitoalexina faseolina, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$), em hipocótilos de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) provenientes de sementes tratadas, das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru. Ponta Grossa – PR, 2025.....	99
TABELA 4.1–	Tratamentos e suas respectivas concentrações, utilizados em plantas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) submetidas à cromatografia gasosa. Ponta Grossa/PR, 2025.....	109
TABELA 4.2 –	Caracterização fitoquímica, por grupo químico, de extratos de plântulas de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, utilizando cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GCMS). Aveiro – Portugal, 2024.....	113
TABELA 4.3 –	Índice de insaturação lipídica (UFA/SFA), determinado por GC-MS, nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Ponta Grossa – Brasil, 2025.....	122

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
1.1 CULTURA DO FEIJÃO.....	20
1.2 MANCHA ANGULAR	22
1.2.1 Sintomatologia	22
1.2.2 Etiologia	23
1.2.3 Manejo da Mancha Angular.....	24
1.3 INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA	25
1.3.1 Mecanismos Bioquímicos e Fisiológicos da Resistência Induzida.....	26
1.3.1.1 Ativação de enzimas de defesa	26
1.3.1.1.1 <i>Peroxidases</i>	27
1.3.1.1.2 <i>Polifenoloxidase</i>	27
1.3.1.1.3 <i>Fitoalexina</i>	28
1.3.2 Metabolismo Secundário	28
1.3.3 Produtos Alternativos para a Indução de Resistência	30
1.3.3.1 Fungos sapróbios	30
1.3.3.2 Extrato pirolenhoso	31
1.3.3.3 <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	32
1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34
REFERÊNCIAS	35
CAPÍTULO 2 - PRODUTOS PARA PROTEÇÃO DE PLANTAS DE FEIJÃO À MANCHA ANGULAR.....	45
2.1 INTRODUÇÃO	46
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	47
2.2.1 Metabólitos de Fungos Sapróbios	48
2.2.2 Testes <i>In Vitro</i>	49
2.2.3 Testes em Casa de Vegetação	51
2.2.4 Testes em Campo	52
2.2.5 Análise Estatística	56
2.3 RESULTADOS.....	56
2.3.1 Testes <i>In Vitro</i>	56
2.3.2 Testes em Casa de Vegetação	58
2.3.3 Testes em Campo	62

2.3.3.1	Safra 2024	63
2.3.3.2	Safra 2025	70
2.4	CONCLUSÕES	76
	REFERÊNCIAS	77

CAPÍTULO 3 – PRODUTOS ALTERNATIVOS PARA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA À MANCHA ANGULAR EM PLANTAS DE FEIJÃO.....82

3.1	INTRODUÇÃO	83
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	85
3.2.1	Obtenção de Extratos para Análise Enzimática	85
3.2.1.1	Obtenção dos extratos proteicos	87
3.2.2	Atividade de Enzimas	87
3.2.2.1	Atividade de peroxidase.....	87
3.2.2.2	Atividade de polifenoloxidase	88
3.2.3	Fitoalexina Faseolina	88
3.2.4	Análise Estatística	89
3.3	RESULTADOS.....	89
3.3.1	Peroxidase	89
3.3.1.1	Peroxidase em plantas de feijão	89
3.3.1.2	Peroxidase em plântulas de feijão	94
3.3.2	Polifenoloxidase.....	95
3.3.2.1	Polifenoloxidase em plantas de feijão.....	95
3.3.2.2	Polifenoloxidase em plântulas de feijão	97
3.3.3	Fitoalexina Faseolina	99
3.4	CONCLUSÕES	100
	REFERÊNCIAS.....	101

CAPÍTULO 4 – PERFIL METABÓLICO DE PLÂNTULAS DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris*) SUBMETIDAS AO TRATAMENTO DE SEMENTES COM PRODUTOS ALTERNATIVOS105

4.1	INTRODUÇÃO	106
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	109
4.2.1	Análise de Compostos de Plantas de Feijão.....	109
4.2.1.1	Preparo dos extratos para análises cromatográficas.....	110
4.2.1.2	Análise por cromatografia gasosa	111
4.2.2	Análise Estatística	112

4.3	RESULTADOS.....	112
4.3.1	Validação Analítica.....	116
4.3.2	Quantificação dos Metabólitos.....	118
4.3.2.1	Ácidos graxos.....	118
4.3.2.2	Glicerol e lipídios.....	122
4.3.2.3	Esteróis, terpenoides e aminoácidos	125
4.4	CONCLUSÕES	129
	REFERÊNCIAS	130
	CONCLUSÕES GERAIS.....	136

INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta de ciclo anual e uma cultura com ampla distribuição e boa adaptação a diversas condições de cultivo (Barili *et al.*, 2015). O grão é uma importante fonte de proteínas e carboidratos na alimentação humana. Agronomicamente, possibilita uma alternativa de cultivo a diversos sistemas produtivos na agricultura nacional (Domene; Ghedini; Steluti, 2021).

A produtividade da cultura do feijão relaciona-se com a escolha de cultivares, manejo de fertilidade e adubação e controle de plantas daninhas, pragas e doenças. Dentre as principais doenças de relevância econômica à cultura, está a mancha angular (*Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & U. Braun), que pode reduzir sua produção em até 80% (Aytenfsu; Terefe, 2023; Zaffar *et al.*, 2024).

O monitoramento e o manejo das doenças fúngicas é uma ferramenta essencial na manutenção da produtividade. São empregadas no manejo de doenças algumas estratégias como a rotação de culturas, o uso de cultivares resistentes, e produtos para controle de origem biológica ou química. Entretanto, a aplicação inadequada destes produtos, destacando-se os químicos, traz consigo problemas como a fitotoxidez, contaminação ambiental, além de possível seleção de populações resistentes à essas moléculas (Canale *et al.*, 2020).

Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de alternativas que possibilitem o controle de doenças, como a mancha angular, mas de forma ambientalmente segura. Nesse sentido, o uso de produtos que promovam a indução de resistência em plantas de feijão pode se tornar uma alternativa de controle efetiva e menos onerosa (Derbalah *et al.*, 2022).

A resistência em plantas é induzida a partir de respostas da planta ao ataque de patógenos, mas também pode ser desencadeada por meio do uso de substâncias que não fazem parte do metabolismo dessas plantas. Estas substâncias exógenas, ativam rotas metabólicas com a síntese de enzimas e metabólitos secundários, substâncias que podem levar a planta à resistência ao ataque de patógenos.

Podem atuar como indutores substâncias de origem química, as quais, podem não ser permitidas em todos os sistemas de produção, como seria o caso do orgânico. Como alternativa ao uso de químicos, pode-se empregar na indução de resistência em plantas o uso de agentes biológicos como fungos sapróbios, nutrientes minerais ou extratos preparados a partir de microrganismos como leveduras, os quais são eficientes em ativar rotas metabólicas da planta e induzir a produção de enzimas e substâncias de defesa (Chen *et al.*, 2020; Dildey, 2017; Toillier *et al.*, 2020; Viecegli *et al.*, 2010).

O presente trabalho parte da hipótese de que a aplicação de produtos alternativos e indutores de resistência, via foliar e tratamento de sementes, é capaz de induzir a resistência em plantas de feijão. A indução de resistência resulta em alterações enzimáticas, metabólicas e fitossanitárias que podem contribuir para a redução do progresso da mancha angular na cultura do feijão.

Dessa forma, o objetivo geral foi avaliar o potencial de diferentes elicitores na ativação da indução de resistência na cultura do feijão, integrando análises de severidade da doença, atividade de enzimas relacionadas à defesa e perfil metabólico das plântulas. De forma específica, buscou-se: verificar o efeito dos tratamentos sobre o progresso da doença nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru a campo; quantificar respostas bioquímicas associadas à defesa vegetal, como enzimas oxidativas e fitoalexina; e caracterizar as alterações no metabolismo secundário associadas à indução de resistência após o tratamento de sementes com os indutores.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 CULTURA DO FEIJÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta dicotiledônea e herbácea, originada de leguminosas que se encontravam distribuídas nos territórios da América Central à América do Sul. A espécie pertence à família Fabaceae, sub-família Faboideae e gênero *Phaseolus* (Santos *et al.*, 2015).

A planta de feijão produz um caule principal, no qual desenvolvem-se nós e entrenós, e, lateralmente os ramos laterais com folhas trifolioladas. O hábito de crescimento das plantas pode ser determinado, com porte ereto ou semiereto, ou indeterminado, com porte prostrado ou trepador, influenciando diretamente a cadeia produtiva desde a semeadura à colheita (Didonet; Carvalho, 2014).

A espécie *P. vulgaris* apresenta reprodução autógama e suas flores fecundadas dão origem a frutos do tipo vagem, com duas valvas unidas nas quais se abrigam as sementes. O desenvolvimento da cultura em campo é compreendido em duas grandes fases: a vegetativa e a reprodutiva, possibilitando a divisão do ciclo em diferentes estádios (Tabela 1.1) (Oliveira *et al.*, 2018).

TABELA 1.1 – Estádios fenológicos da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

Estádio	Nome	Descrição
V0	Germinação	Germinação da semente.
V1	Emergência	Emergência de pelo menos 50% dos cotilédones até o início do desenvolvimento das folhas primárias.
V2	Folhas primárias	Folhas primárias totalmente expandidas até a abertura do primeiro trifólio.
V3	Primeiro trifólio	Primeiro trifólio totalmente expandido, segundo trifólio em crescimento até o início da abertura do terceiro trifólio.
V4	Terceiro trifólio	Terceiro trifólio aberto até o surgimento dos primeiros botões florais.
R5	Pré-floração	Aparecimento dos botões florais até o início do florescimento.
R6	Floração	Abertura de pelo menos 50% dos botões florais até o florescimento pleno.
R7	Formação de vagens	Formação das primeiras vagens e termina quando as vagens atingem comprimento máximo.
R8	Enchimento de vagens	Enchimento de grãos até o início da queda de folhas.
R9	Maturação	Senescência foliar e maturação dos grãos.

Fonte: Oliveira *et al.* (2018).

Os grãos têm altas quantidades de carboidratos, proteínas e nutrientes essenciais, o que torna o feijão um importante alimento na dieta humana. Desta forma, a cultura tem destaque no que se refere à segurança alimentar (Silva, 1981; Tavares *et al.*, 2018; Zimmerman, 1988).

Com boa adaptabilidade edafoclimática, a cultura do feijão tem seu cultivo em praticamente todos os Estados do Brasil, dividido em três grandes safras anuais. A primeira, que compreende o período com maior pluviosidade, é conhecida como safra das águas, semeada entre agosto e dezembro. Em seguida, a segunda safra, ou safra das secas, é colocada em campo entre os meses de janeiro e abril e por fim, a terceira safra, semeada de maio a julho, porém restrita a regiões mais quentes do país (Brasil, 2021).

O feijão apresenta ainda versatilidade agrônômica, atendendo desde a produção de baixa tecnologia em pequenas áreas ao cultivo tecnificado em grandes propriedades. Além da importância social e econômica, isso permite que a cultura tenha cerca de 3 milhões de toneladas produzidas anualmente, em cerca de 2,7 mil hectares cultivados no Brasil (Brasil, 2026).

A produtividade média da cultura na safra 2024/2025 apresentou crescimento de 7% em comparação com 2023/2024, ultrapassando 1100 kg por hectare (Brasil, 2026). O cultivo frequente de feijão, no entanto, possibilita a presença constante de patógenos, que em condições ambientais adequadas levam ao desenvolvimento de doenças. Essas, podem levar à redução da área fotossintética e a produção de grãos, trazendo reduções na produtividade (Bassanezi, 2000).

Caracteriza-se por doença a interferência causada nos processos fisiológicos das plantas ocasionada pela ação de fungos, bactérias, vírus, etc. Estes microrganismos na presença de hospedeiro suscetível e condições climáticas favoráveis, levam ao desempenho deficitário, reduzindo os potenciais produtivos (Rezende; Massola Júnior; Bedendo, 2019).

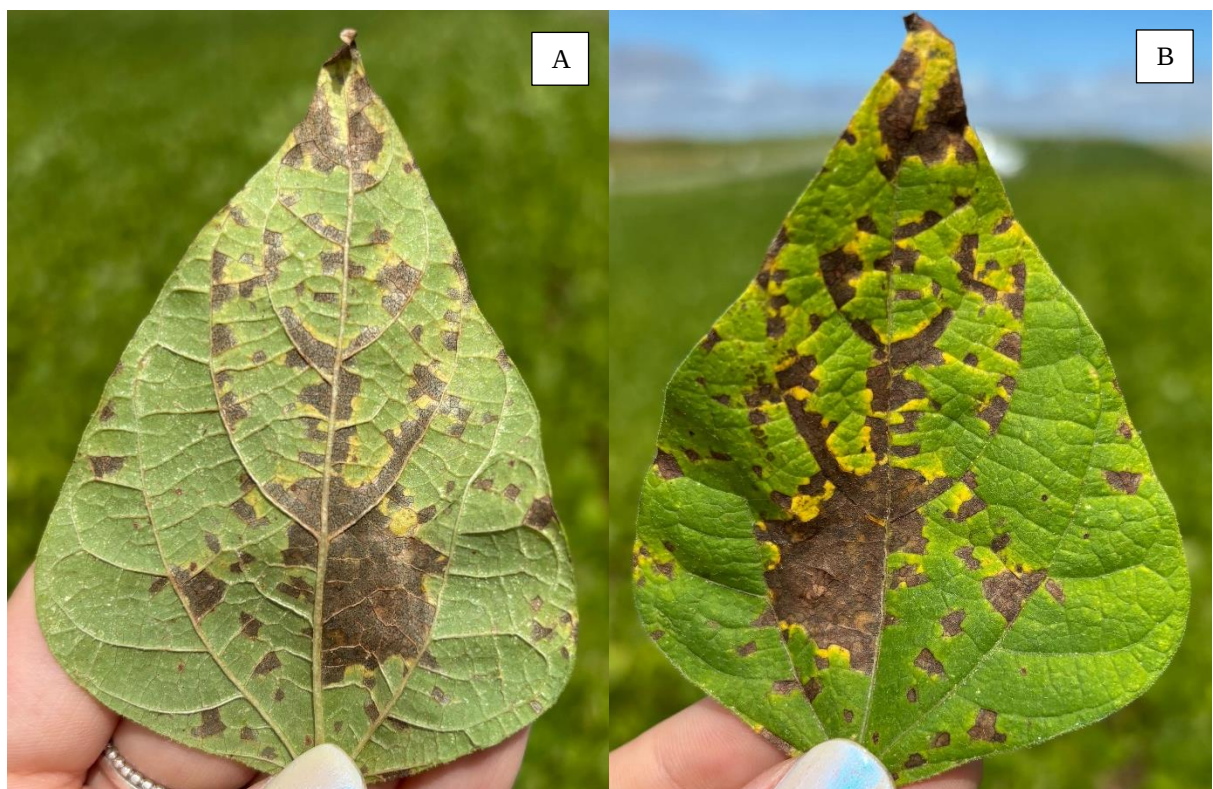
Entre as doenças capazes de causar danos na cultura do feijão, grande parte possui como causa um agente fúngico que ataca a parte aérea das plantas, como a antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magn. Lams. Scrib)), a mancha angular, a ferrugem (*Uromyces appendiculatus* (Pers.) Unger)) e o oídio (*Oidium* sp.) (Wendland *et al.*, 2016). Estas doenças, sem o devido manejo e controle, podem levar a danos próximos a 100% (Paula Júnior; Wendland, 2012).

1.2 MANCHA ANGULAR

1.2.1 Sintomatologia

A mancha angular, com agente causal *Pseudocercospora griseola*, é uma doença que ocorre em praticamente todas as áreas produtivas do território brasileiro, podendo levar a reduções na produtividade de até 80% (EMBRAPA, 2018). De acordo com o progresso da doença, o fungo pode ocasionar sintomas nas folhas, vagens e no caule. Na folha, surgem lesões angulares, de coloração amarronzada e contidas pelas nervuras (Figura 1.1), podendo levar à desfolha prematura. Já nas vagens e no caule, surgem lesões arredondadas, de coloração marrom, não deprimidas (Dalla Pria; Silva, 2018).

FIGURA 1.1 – Sintomas de mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) em face abaxial (A) e adaxial (B) de folha de feijão (*Phaseolus vulgaris*).



Fonte: a autora.

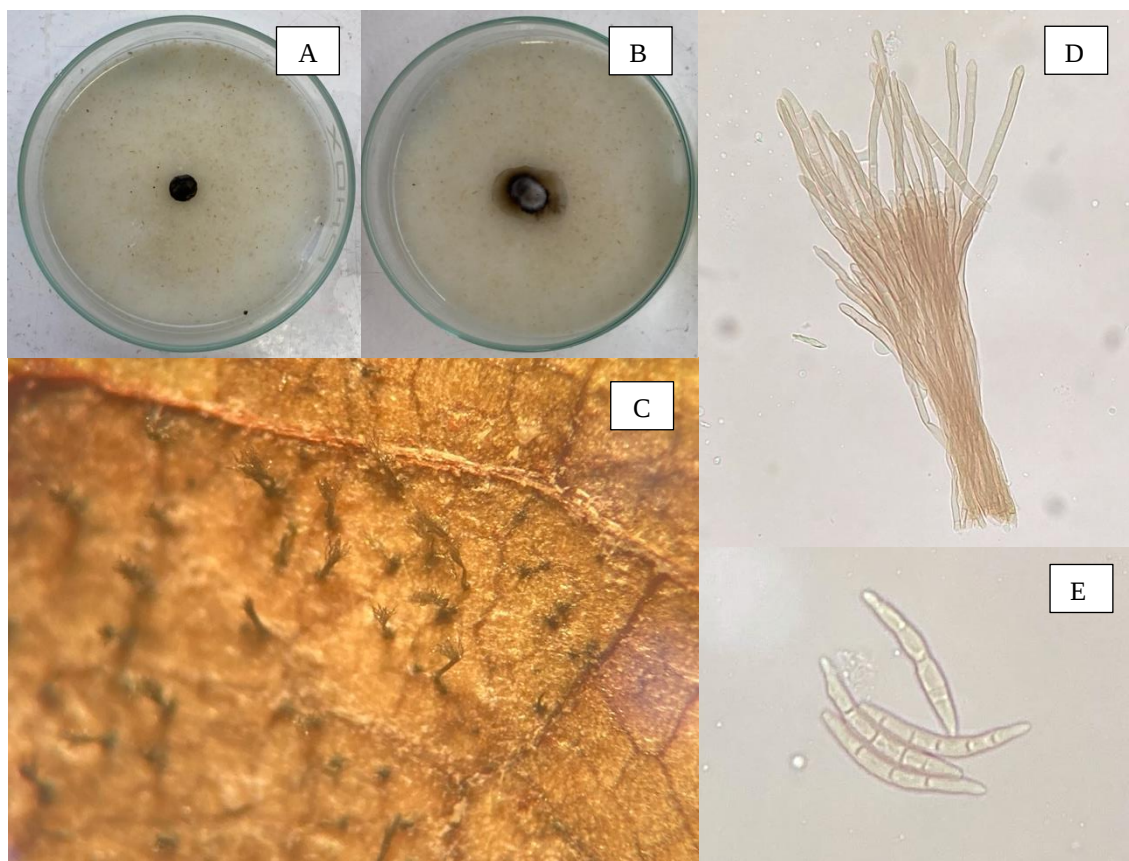
Em condições de campo, os sintomas tornam-se mais evidentes nos estádios finais da cultura, principalmente após o início do estágio reprodutivo. A esporulação ocorre em qualquer órgão da planta que contenha as lesões, as quais podem evoluir e coalescer, levando à desfolha prematura da planta de feijão (Wendland *et al.*, 2016).

1.2.2 Etiologia

O agente etiológico da mancha angular, anteriormente denominado *Phaeoisariopsis griseola* Sacc. Ferraris [Sin. *Isariopsis griseola* (Sacc.)], passou a ser denominado *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & Braun a partir de 2007 (Dalla Pria; Silva, 2018). O patógeno foi descrito em 1878 por Saccardo, e pertence ao reino Fungi, à classe dos Deuteromicetos, ordem Moniliales e família Stilbaceae (Barnett; Hunter, 1998; Zaumeyer; Thomas, 1957).

Em meio de cultura, o patógeno produz micélio escuro, pouco abundante e em colônias restritas a um pequeno raio de crescimento (Figura 2.1A). Já em tecidos vegetais, o fungo forma estruturas reprodutivas denominadas sinêmios, que são compostas por feixes de conidióforos de coloração escura na face abaxial das folhas (Figura 2.1B e 2.1C). Os conidióforos produzem esporos (conídios) de coloração clara, cilíndricos à fusiformes com septos variando na quantidade de 0 a 7 septos (Figura 2.1D) (Buruchara, 1983).

FIGURA 2.1 – Colônias de *Pseudocercospora griseola* cultivadas *in vitro* com 1 (A) e 14 (B) dias de incubação; sinêmios em lesão de mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) na face abaxial de folha de feijão (*Phaseolus vulgaris*) (C); feixe de conidióforos reunido em sinêmio visto no microscópio ótico objetiva 40x (D); Conídios observados em microscópio ótico objetiva 40x (E).



Fonte: a autora.

Na relação patógeno/hospedeiro, *P. griseola* é hemibiotrófico, ou seja, apresenta comportamento nutricional biotrófico e necrotrófico. Os patógenos iniciam a infecção retirando os nutrientes da célula vegetal por meio de uma vesícula e durante a colonização, mesmo após a morte dos tecidos, desenvolvem-se e esporulam na área infectada de forma necrotrófica.

O processo de infecção inicia com a germinação do conídio na face abaxial da folha de feijão, cujo tubo germinativo produzido estende-se sobre as células da epiderme e dos estômatos. O tubo então penetra pelos estômatos, e já no interior dos tecidos, as hifas se desenvolvem e crescem nos espaços intercelulares, onde ocorre a produção e liberação de toxinas, levando à morte celular e necrose foliar (Monda; Sanders; Hick, 2001).

A safra da seca (semeadura de janeiro a março) apresenta as melhores condições para disseminação e desenvolvimento da mancha angular: alternância entre períodos secos e úmidos, umidade relativa acima de 70% e temperaturas entre 16 e 28°C, com condições ótimas de desenvolvimento entre 21 e 25°C. Os conídios do fungo são disseminados principalmente pelo vento, sobrevivendo também em hospedeiros alternativos, sementes e restos culturais infectados, favorecendo a contaminação precoce na cultura (Dalla Pria; Silva, 2018; EMBRAPA, 2018).

Além de sobrevivência por até 19 meses em condições não ideais ao desenvolvimento, *P. griseola* apresenta grande variabilidade genética e patogênica, com mais de 50 patótipos identificados nas regiões produtoras do Brasil. Tal variabilidade compromete o controle da doença, havendo a necessidade de combinar diferentes técnicas para um manejo efetivo (Wendland *et al.*, 2016).

1.2.3 Manejo da Mancha Angular

Pode-se aplicar para o manejo da mancha angular em feijão, as estratégias estabelecidas pelo manejo integrado de doenças (MID). Este é um sistema que engloba diferentes formas de controle, de maneira que, quando utilizadas em conjunto e/ou em sequência, permitem um controle mais efetivo, sustentável e menos oneroso (Stenberg, 2017).

Dentre as técnicas estabelecidas no MID, estão o controle genético através do uso de variedades resistentes, o controle químico, cultural e biológico, os métodos físicos e mecânicos e o controle legislativo. Para estas técnicas, no entanto, é necessária a adequação de acordo com a legislação vigente e a disponibilidade de recursos de cada produtor (Dent, 1995).

O uso inadequado de fungicidas químicos, no entanto, pode levar à contaminação ambiental e humana, além de reduzir sua efetividade devido à resposta evolutiva natural das

populações do patógeno, nas quais podem ser selecionados indivíduos resistentes às moléculas (Ghini; Kimati, 2002; Pignati, 2018). Nesse sentido, podem-se buscar alternativas ao uso de químicos no controle de doenças de forma mais sustentável, dentre as quais, pode-se destacar a indução de resistência, que ativa mecanismos de defesa naturalmente presentes nas plantas (Peiter-Beninca *et al.*, 2021).

1.3 INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA

A resistência de uma planta é caracterizada pela sua capacidade em evitar ou atrasar a entrada de patógenos, afetando seu desenvolvimento nos tecidos vegetais. Podem ser observadas nas plantas e em seus tecidos características estruturais, como parede celular, acúmulo de lignina e ceras, ou traços bioquímicos, com metabólitos tóxicos aos patógenos (Agrios, 2005).

Os mecanismos de defesa são produzidos em resposta ao reconhecimento do patógeno pela planta, desencadeando uma série de sinais que ativam rotas metabólicas de proteção a fim de evitar a infecção. Outra forma de ativar as rotas de defesa é através da aplicação de substâncias exógenas, as quais ativam o metabolismo das plantas, conferindo resistência aos fitopatógenos (Gontijo Neto *et al.*, 2016).

Em plantas, dois diferentes tipos de resistência podem ser encontrados. O primeiro, conhecido como Resistência Sistêmica Adquirida (SAR – Systemic Acquired Resistance), ocorre a partir da resposta à infecção por agentes fitopatogênicos, ativando a rota de sinalização do ácido salicílico. No entanto, destaca-se ainda que esse tipo de resistência pode ser ativado também por agentes não-patogênicos e pelo uso de substâncias exógenas, como ácido salicílico, fosfitos e outros (Heil, 2004).

A segunda forma de resistência em plantas é a Resistência Sistêmica Induzida (IRS – Induced Systemic Resistance), a qual ocorre através da ativação da rota do ácido jasmônico e do etileno a partir do uso de elicitores. Este tipo de resistência tem amplo espectro, atuando na proteção à patógenos e conferindo tolerância a estresses abióticos (Diaz-Puentes, 2012; O'Brien, 2017).

A resistência induzida por elicitores não promove alteração no genoma da planta, tampouco pode ser transmitida aos descendentes, mas ativa genes capazes de codificar diferentes respostas de defesa. Essas respostas da planta ocorrem inicialmente nas células ao redor do local de infecção, através de reações de hipersensibilidade e síntese de metabólitos secundários, como fitoalexinas e compostos fenólicos, passando então para ativação metabólica mais ampla, a nível sistêmico, com a síntese enzimática (Robayo; Gutiérrez, 2014).

As respostas de resistência podem ser observadas então através da rota de síntese de fitoalexinas, com o aumento da atividade de fenilalaninas amônia-liases. Pode-se visualizar ainda um aumento na atividade de enzimas como as peroxidases, polifenoloxidasas, proteases e β -1,3-glucanases, produzidas a partir da ativação das proteínas relacionadas à patogênese (proteínas PR) (Rinella *et al.*, 2010).

Os elicitores são as moléculas exógenas que ativam as defesas fisiológicas e a produção de metabólitos nas plantas. Estes elicitores podem ter origem biótica ou abiótica, destacando-se substâncias como o acibenzolar-S-metílico (Huang *et al.*, 2012), extrato pirolenhoso (Chen *et al.*, 2020), fertilizante mananoligossacarídeo (Labanca, 2002) e indutores bióticos como extratos de microrganismos (Yaguchi *et al.*, 2017) ou fungos sapróbios do gênero *Trichoderma* e *Pycnoporus*.

1.3.1 Mecanismos Bioquímicos e Fisiológicos da Resistência Induzida

1.3.1.1 Ativação de enzimas de defesa

O processo de resistência induzida tem início com o reconhecimento do elicitador por receptores localizados na membrana plasmática, ativando respostas metabólicas das plantas. Essas respostas iniciam já nos primeiros minutos com mudanças na permeabilidade da membrana, estimulando a entrada de íons cálcio (Ca^{2+}) e hidrogênio (H^+) e a saída de potássio (K^+) e cloro (Cl^-), além da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), as quais atuam como moléculas sinalizadoras amplificando as respostas de defesa. A parede celular, por sua vez, é remodelada por meio da deposição de lignina e da reorganização dos seus componentes, dificultando a penetração e a colonização por patógenos (Hückelhoven; Schouten, 2022; Taiz *et al.*, 2017).

A fase *priming* inclui todas as mudanças no metabolismo vegetal após a percepção dos estímulos dos elicitores, deixando a planta em estado de preparação para uma resposta frente a um desafio posterior. Essas mudanças podem ser de ordem fisiológica ou molecular e podem ser transitórias ou mantidas durante a vida da planta, podendo ser detectadas pelo aumento da atividade de enzimas relacionadas ao metabolismo oxidativo e à rota dos fenilpropanóides, bem como pelo acúmulo de metabólitos com ação antimicrobiana (Mauch-Mani *et al.*, 2017).

Em plantas de feijão, estudos indicam que a resistência induzida está associada ao aumento de fitoalexinas e de enzimas oxidativas, como peroxidases e polifenoloxidasas reforçando a multifatorialidade das respostas. Cabe ressaltar que a eficiência das respostas relacionadas à indução de resistência depende de fatores como a natureza do elicitador, o tecido

alcançado, o estágio fenológico da planta e a interação com as principais vias hormonais envolvidas na defesa vegetal (Abu-Tahon; Mogazy; Isaac, 2022; Basiony *et al.*, 2023; ; Garcés-Fiallos *et al.*, 2022).

1.3.1.1.1 Peroxidases

As peroxidases (EC 1.11.1.x) constituem um grupo de enzimas encontradas nos tecidos vegetais, que fazem parte dos mecanismos de defesa associados à resistência induzida. Sua síntese é ativada por sinais de estresse biótico, atuando principalmente na parede celular e no apoplasto, onde participa da lignificação, da formação de barreiras estruturais e da regulação do balanço redox, contribuindo diretamente para a resistência da planta. Essas enzimas utilizam peróxido de hidrogênio (H_2O_2) como substrato para catalisar reações de oxidação de compostos fenólicos e metabolizar EROs. A atuação coordenada entre EROs e peroxidases permite que a planta mantenha o equilíbrio entre a sinalização da defesa e a prevenção de danos oxidativos (Freitas *et al.*, 2024; Pandey *et al.*, 2017).

Outra função da peroxidase está relacionada à lignificação e à manutenção de componentes da parede celular. Por meio da oxidação de monolignóis e fenóis, a enzima contribui para a formação de lignina e aumento da rigidez da parede celular, dificultando a penetração e o avanço do patógeno nos tecidos. Esse mecanismo é de extrema importância em interações com patógenos hemibiotróficos, como *P. griseola*, que dependem da integridade celular do hospedeiro durante as fases iniciais de infecção (Taiz *et al.*, 2017)

No feijão, diversos estudos têm demonstrado que o aumento da atividade de peroxidase está associado a respostas de resistência induzida. Trabalhos envolvendo a aplicação de elicitores químicos ou biológicos relatam um aumento na atividade dessa enzima, sugerindo que a peroxidase atua durante a ativação das defesas vegetais (Rezalou *et al.*, 2023; Waheed *et al.*, 2023). Em particular, sistemas que utilizam produtos alternativos apresentam respostas de ativação da peroxidase, refletindo a capacidade desses insumos de modular o metabolismo defensivo da planta (Freires *et al.*, 2022; Zhou *et al.*, 2024).

1.3.1.1.2 Polifenoloxidase

A polifenoloxidase (PPO; EC 1.14.18.1) é uma enzima que atua de maneira complementar às peroxidases, integrando o metabolismo oxidativo e a rota dos compostos fenólicos. Enquanto as peroxidases estão relacionadas à lignificação e ao reforço estrutural da parede celular, a PPO contribui com a oxidação de compostos fenólicos a quinonas. As

quinonas formadas podem apresentar toxicidade direta a microrganismos ou criarem um ambiente bioquímico desfavorável ao desenvolvimento de patógenos (Zhang, 2023; Zhang *et al.*, 2023).

O aumento da atividade de polifenoloxidase tem sido relatado em plantas como resposta a diferentes estímulos elicitantes, incluindo infecção por patógenos e aplicação de indutores de resistência. Estudos indicam que a elevação da atividade de PPO pode ocorrer tanto em plantas jovens quanto adultas, sendo observada em associação com a redução da severidade de doenças foliares e vasculares. Embora a resposta da PPO seja, em alguns casos, mais variável do que a de outras enzimas de defesa, sua ativação contribui para a composição do estado fisiológico defensivo da planta (Abdelaziz *et al.*, 2023; Bello *et al.*, 2025; Velmurugan *et al.*, 2023).

1.3.1.1.3 *Fitoalexina*

As fitoalexinas constituem um grupo de metabólitos secundários de baixo peso molecular sintetizados pelas plantas em resposta a estímulos bióticos ou abióticos. No feijão, a principal fitoalexina descrita é a faseolina, um isoflavonoide cuja atividade antifúngica tem sido amplamente documentada em diferentes sistemas patógeno–hospedeiro. A síntese e o acúmulo de faseolina representam uma resposta bioquímica altamente específica, frequentemente associada à contenção do avanço de patógenos foliares (Dev *et al.*, 2024; Taiz *et al.*, 2017).

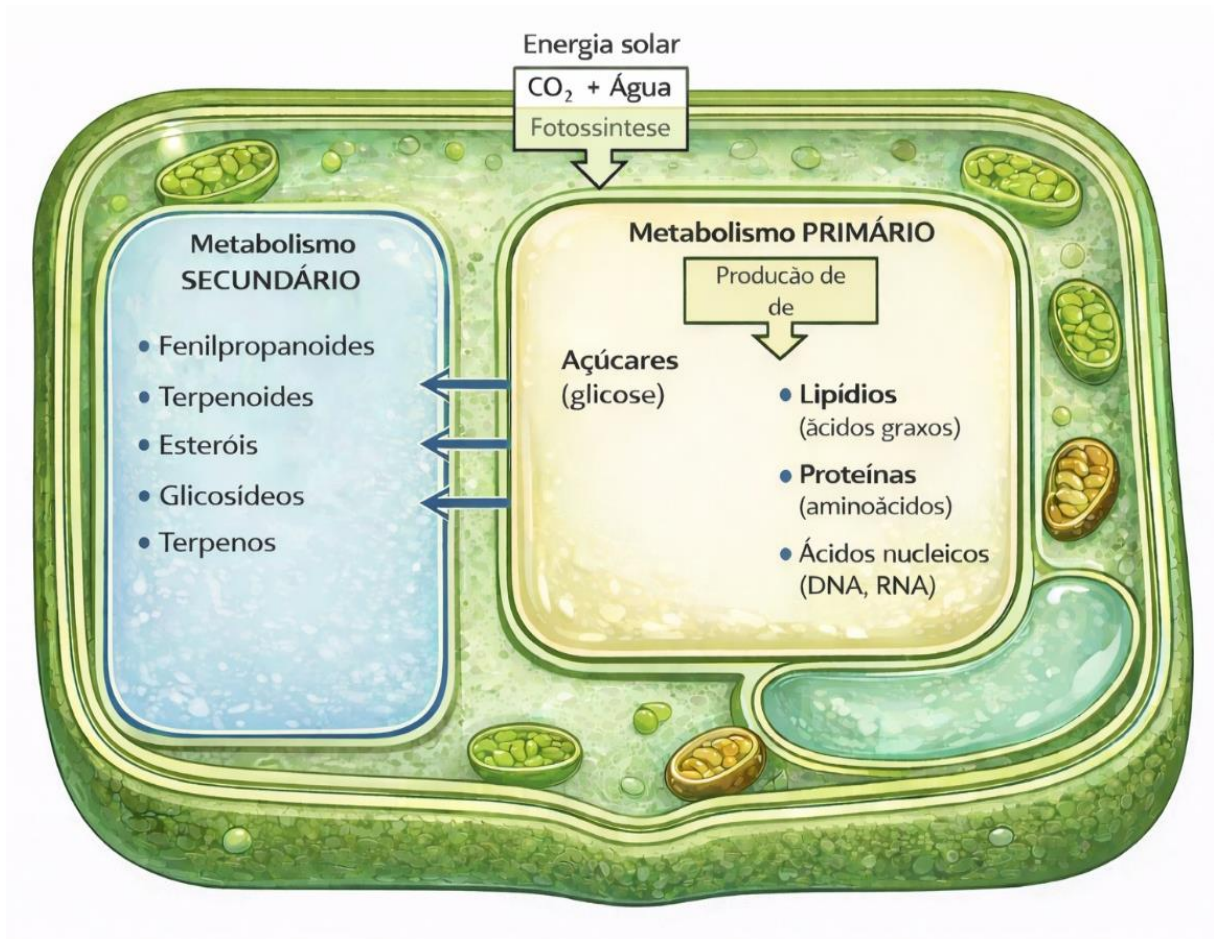
A produção de faseolina está intimamente ligada à ativação da rota dos fenilpropanóides e dos isoflavonoides, estimulada após a percepção de sinais elicitores e a ativação das vias de sinalização associadas à resistência induzida. Diferentemente das enzimas de defesa, cuja atividade pode influenciar o metabolismo para evitar a entrada de patógenos, o acúmulo de fitoalexinas reflete em redirecionamento metabólico para a síntese de compostos com ação direta e, muitas vezes localizada, sobre o patógeno. Nesse contexto, a faseolina atua como composto antimicrobiano, inibindo a germinação de esporos, o crescimento micelial e a colonização dos tecidos vegetais, inclusive em feijão (Bello *et al.*, 2025; Cooper; Campbell; Garrett, 2022; Pittner *et al.*, 2018).

1.3.2 Metabolismo Secundário

O metabolismo secundário das plantas compreende um conjunto diversificado de rotas metabólicas responsáveis pela produção de compostos que, embora não estejam diretamente envolvidos nos processos primários de crescimento e desenvolvimento, exercem funções essenciais na adaptação das plantas ao ambiente (Figura 1.3). Esses metabólitos atuam na defesa

contra patógenos e pragas e na proteção contra estresses abióticos (Muñoz-Sanchez; Vázquez-Flota, 2024; Taiz *et al.*, 2017).

FIGURA 1.3 – Esquema do fluxo metabólico em plantas, ilustrando a produção de metabólitos a partir de fatores ambientais.



Fonte: Adaptado de Muñoz-Sanchez e Vázquez-Flota (2024); Li *et al.* (2023a); Li *et al.* (2023b).

A ativação dos mecanismos de resistência induzida está frequentemente associada a alterações no perfil de metabólitos primários e secundários. Essas alterações se envolvem em reorganização metabólica que inclui terpenos, glicosídeos, fenilpropanoides, alcaloides, compostos fenólicos, ácidos graxos, aminoácidos e lipídios. Tal reprogramação metabólica reflete o ajuste fisiológico da planta diante de estímulos elicitores ou patógenos, resultando em estado metabólico capaz de sustentar respostas de defesa mais rápidas e eficientes (Li *et al.*, 2023a; Li *et al.*, 2023b).

Assim, o estudo do metabolismo secundário permite ampliar a compreensão dos efeitos da indução de resistência para além de marcadores enzimáticos específicos, integrando respostas bioquímicas, fisiológicas e metabólicas.

1.3.3 Produtos Alternativos para a Indução de Resistência

1.3.3.1 Fungos sapróbios

Fungos sapróbios são microrganismos que produzem e secretam enzimas capazes de degradar tecidos de plantas, liberando nutrientes para o meio. Os sapróbios são capazes de absorver esses nutrientes mais eficientemente que os patógenos, resultando então, em importante mecanismo de antagonismo por meio de competição (Thrane; Jensen; Tronsmo, 2000).

O auxílio à proteção da planta promovido por esses fungos ocorre também pelo biocontrole por meio da produção de substâncias capazes de degradar a parede celular de diversos fungos. Há ainda o aumento da resistência das plantas, ativada a partir de substâncias produzidas pelos sapróbios, como alcaloides, flavonoides, diterpenos, isoflavonoides e quitinases. Desta forma, esses microrganismos podem colaborar com a proteção contra doenças, sendo um método alternativo ao controle químico (Peitl, 2015).

Dentre as diversas espécies de sapróbios, fungos do gênero *Trichoderma* e *Pycnoporus sanguineus* são alguns dos que não apresentam toxicidade ao ambiente e tem, dentre seus efeitos em plantas, a produção de substâncias que ativam mecanismos de resistência, além de promoverem o biocontrole de patógenos (Christmann *et al.*, 2019; Peiter-Beninca *et al.*, 2021; Toillier *et al.*, 2020).

Estudo conduzido por Zheng *et al.* (2024) demonstraram que a indução de resistência sistêmica mediada por *Trichoderma asperellum* em plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) está diretamente associada à ativação da via de flavonoides. A inoculação da cepa T141 promoveu o aumento da atividade de enzimas antioxidantes e a diminuição do estresse oxidativo nas raízes. As análises metabolômicas evidenciaram o acúmulo de flavonoides e outros metabólitos secundários relacionados à defesa vegetal, indicando que esses compostos fizeram parte da resistência induzida.

Karuppiyah *et al.* (2022) trouxeram resultados de que a aplicação de *Trichoderma asperellum* GDFS1009 foi eficiente na redução da severidade da podridão de colmo do milho (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium graminearum* S.. A presença do antagonista estimulou respostas de defesa na planta, evidenciadas pela ativação de vias hormonais associadas ao ácido salicílico, ácido jasmônico e etileno, indicando a indução de resistência sistêmica.

Rezalou *et al.* (2023) demonstraram que espécies de *Trichoderma* apresentaram efeito biostimulante sobre plantas de feijão, melhorando parâmetros fisiológicos como o teor de clorofila, de carotenoides, de proteínas solúveis e na atividade de enzimas associadas à defesa,

como peroxidase e polifenoloxidase. A inoculação de sementes foi o método mais eficiente, e as respostas variaram entre as espécies avaliadas, indicando que o efeito depende da interação específica com a planta.

Extratos de *P. sanguineus*, obtidos a partir da secagem e moagem dos basidiocarpos, seguidas de reidratação e filtração, foram avaliados por Brito *et al.* (2025), que observaram redução da infecção por *Meloidogyne* spp. em plantas de tomate, mesmo sem efeito nematocida direto *in vitro*. Segundo os autores, esse resultado está relacionado à ativação de mecanismos de defesa da planta, evidenciada pelo aumento da atividade de peroxidase, indicando o potencial desses extratos na indução de resistência.

Viecelli *et al.* (2010) também demonstraram que *P. sanguineus* foi eficiente no controle da mancha angular do feijão, com redução da severidade da doença em condições de casa de vegetação e campo. O uso dos extratos aquosos do pó seco de micélio do fungo esteve associado ao aumento da atividade de enzimas de defesa, como peroxidase e polifenoloxidase, além de alterações em parâmetros fisiológicos da planta, indicando a ativação de mecanismos de resistência em plantas de feijão.

1.3.3.2 Extrato pirolenhoso

O extrato pirolenhoso, ou ácido pirolenhoso, é um produto obtido a partir da condensação da fumaça formada durante a carbonização de biomassa vegetal ou da queima de madeira para a produção de carvão vegetal. Na literatura encontram-se relatos do uso do extrato com função adjuvante e herbicida (Zeferino; Lima; Vieira, 2018), promotora de crescimento (Silva *et al.*, 2017) e antifúngica (Theapparath *et al.*, 2015; Yahayu *et al.*, 2017; Gao *et al.*, 2020).

Além da ação antifúngica, há contribuições do extrato pirolenhoso na ativação enzimática de plantas. O produto atua como agente indutor à síntese de enzimas de proteção à planta, como peroxidase e polifenoloxidase. Chen *et al.* (2020) trouxeram resultados de que o ácido pirolenhoso foi eficiente na redução da severidade do mofo-cinza, causado pelo fungo *Botrytis cinerea* em uvas (*Vitis vinifera* L.). Os autores destacaram que o produto pode contribuir para o fortalecimento das respostas de defesa da planta, indicando seu potencial como alternativa ou complemento ao uso de fungicidas sintéticos.

Wang *et al.* (2019) mostraram que o tratamento de sementes de trigo (*Triticum aestivum* L.) com extrato pirolenhoso aumentou o crescimento das plantas e a tolerância ao estresse por seca. O extrato foi capaz de elevar os teores de ácido abscísico nas raízes e estimular o sistema antioxidante, com aumento das atividades de enzimas como peroxidase, superóxido dismutase e catalase. A análise proteômica indicou alterações em proteínas relacionadas ao

metabolismo, resposta ao estresse e metabolismo secundário, sugerindo que o extrato pirolenhoso é capaz de ativar as defesas da planta para enfrentar condições adversas.

Nutsukpo *et al.* (2025) mostraram que o ácido pirolenhoso reduziu a severidade de *Botrytis cinerea* em videiras e promoveu alterações fisiológicas positivas nas plantas, como aumento de carotenoides e flavonoides. Apesar de o fungicida comercial apresentar maior eficiência no controle da doença, os resultados indicam que o ácido pirolenhoso pode atuar como alternativa ou complemento no manejo, contribuindo para o fortalecimento fisiológico da planta e sua resposta ao patógeno.

Utilizando o extrato pirolenhoso via tratamento de sementes de tomate, Ofoe *et al.* (2022) observaram que esse produto melhorou a velocidade de germinação e vigor das plântulas, promovendo maior crescimento de raízes e parte aérea mesmo sob presença de alumínio. O ácido pirolenhoso também reduziu compostos associados ao estresse oxidativo (como peróxido de hidrogênio e malondialdeído) e elevou a acumulação de prolina e proteínas solúveis, além de aumentar a atividade de peroxidase e a expressão de genes antioxidantes, sugerindo que o *priming* com ácido pirolenhoso contribui para o fortalecimento do sistema antioxidante da planta frente ao estresse.

1.3.3.3 *Saccharomyces cerevisiae*

A parede celular de *Saccharomyces* sp. é composta por três moléculas principais, sendo o β -glucano correspondente à aproximadamente 60% da massa seca da parede, a manose 38% e a quitina 2% (Aguilar-Uscanga; François 2003). Em destaque, os β -glucanos são polissacarídeos compostos por monômeros de glicose, unidos através de ligações glicosídicas β do tipo β -1,3; β -1,4; ou β -1,6. O β -1,3-glucano é o mais abundante, mas a ligação β -1,6-glucano é a principal no que se diz respeito à atividade elicitora à indução de defesa à fitopatogênicos em plantas (Fesel; Zuccaro, 2016).

Em geral, os produtos de fermentação de *Saccharomyces* sp. apresentam resultados promissores quanto à indução de resistência em plantas. As moléculas principais, derivadas da parede celular da levedura, foram testados como indutores de defesa em plantas. Resultados promissores foram encontrados quanto a indução de resistência à fitopatógenos em trigo (Twamley; Gaffney; Feechan, 2019), cevada (*Hordeum vulgare* L.) (Reglinski; Lyon; Newton, 1994), *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. (Yaguchi *et al.*, 2017) e alface (*Lactuca sativa* L.) (Reglinski; Lyon; Newton, 1995).

O AGROMOS[®] é registrado no Brasil como fertilizante e fabricado à base de mananoligossacarídeos fosforilados, derivados da parede celular da levedura *S. cerevisiae* 1026 (Hansen) e do extrato filtrado de *Lactobacillus* sp. (Alltech Crop Science, 2012). Esse produto é composto por sólidos solúveis originários do processo de fermentação dos microrganismos e é capaz de induzir a resistência, além de apresentar caráter sistêmico e possuir diferentes mecanismos de ação (Dantas *et al.*, 2004).

Estudos demonstram a efetividade no uso de mananoligossacarídeos em diferentes culturas com o objetivo de induzir a resistência. Em pesquisa com *S. cerevisiae* em pepino (*Cucumis sativus* L.) e soja (*Glycine max* L. Merr.), Labanca (2002) demonstra que o uso dos compostos produzidos durante a fermentação da levedura foi promissor em induzir a resistência. Houve um acúmulo de fitoalexinas em soja e aumento da atividade de peroxidases no pepino, além de apresentar efeito inibitório sobre o crescimento e esporulação de *Colletotrichum lagenarium* (Pass.), agente etiológico da antracnose das cucurbitáceas.

Di Piero *et al.* (2005) demonstraram eficiência desse produto no controle de doenças de videira, batata (*Solanum tuberosum* L.) e tomate. Bonaldo; Pascholati; Romeiro (2005), por sua vez, verificou que *S. cerevisiae* teve sucesso quanto à proteção de plântulas de pepino a *C. lagenarium* e na proteção de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) contra *Colletotrichum sublineolum* P. Henn., Kabat & Bulbak pelo acúmulo de fitoalexinas em folhas e em mesocótilos de sorgo.

1.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cultura do feijão tem elevada importância no Brasil, porém é frequentemente afetada por doenças, dentre as quais a mancha angular, causada por *P. griseola*, se destaca pelo potencial de reduzir a produtividade. A variabilidade do patógeno e as limitações do controle químico reforçam a necessidade de estratégias de manejo mais sustentáveis.

Nesse contexto, a indução de resistência vegetal apresenta-se como uma alternativa dentro do manejo integrado de doenças, por ativar mecanismos naturais de defesa das plantas. A literatura evidencia que esse processo envolve respostas bioquímicas e fisiológicas, como a ativação de enzimas de defesa, o acúmulo de fitoalexinas e alterações no metabolismo secundário, preparando a planta para responder de forma mais eficiente ao ataque de patógenos.

Os produtos alternativos abordados nesta revisão, incluindo extratos de fungos sapróbios, extrato pirolenhoso e derivados de *S. cerevisiae*, demonstram potencial como elicitores de resistência, contribuindo para a ativação das defesas vegetais e para a redução da severidade de doenças de plantas. Dessa forma, estudos que envolvam a compreensão dos mecanismos da resistência induzida são fundamentais para subsidiar o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes e ambientalmente seguras para a cultura do feijão.

REFERÊNCIAS

- ABDELAZIZ, A. M.; EL-WAKIL, D. A.; HASHEM, A. H.; AL-ASKAR, A. A.; ABDELGAWAD, H.; ATTIA, M. S. Efficient role of endophytic *Aspergillus terreus* in biocontrol of *Rhizoctonia solani* causing damping-off disease of *Phaseolus vulgaris* and *Vicia faba*. **Microorganisms**, v. 11, n. 6, p. 1487, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061487>. Acesso em: 04/01/2026.
- ABU-TAHON, M. A.; MOGAZY, A. M.; ISAAC, G. S. Resistance assessment and enzymatic responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) against *Rhizoctonia solani* damping-off in response to seed presoaking in *Vitex agnus-castus* L. oils and foliar spray with zinc oxide nanoparticles. **South African Journal of Botany**, v. 146, p. 77–89, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.009>. Acesso em: 04/01/2026.
- AGRIOS, G. N. Genetics of plant Disease. In: **Plant Pathology**. 5 ed. London: Elsevier Academic Press, p. 125-170, 2005.
- AGUILAR-USCANGA, B. FRANÇOIS, J. M. A study of the yeast cell wall composition and structure in response to growth conditions and mode of cultivation. **Letters in Applied Microbiology**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 268-274, set., 2003. Disponível em: <https://ami-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1472-765X.2003.01394.x?sid=nlm%3Apubmed>. Acesso em: 06 mai. 2024.
- ALLTECH. Agro-Mos®. **Safety Data Sheet**, v. 57, n. 78, 2012. Disponível em: <https://www.alltech.com/sites/default/files/2020-12/SDS%20Agro-Mos%200416DB.PDF>. Acesso em: 03 mai. 2023.
- AYTENFSU, M.; TEREFE, H. A review of *Pseudocercospora griseola* in common bean (*Phaseolus vulgaris*) in Africa. *Cabi Reviews*, v. 1, p. 1-14, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1079/cabireviews.2023.0016>. Acesso em: 26 mai. 2024.
- BARILI, L. D.; VALE, N. M.; AMARAL, R. C.; CARNEIRO, J. E. S.; SILVA, F. F.; CARNEIRO, P. C. S. Adaptabilidade e estabilidade e a produtividade de grãos em cultivares de feijão preto recomendadas no Brasil nas últimas cinco décadas. *Fitotecnia*, v. 45, n. 11, p. 1980-1986, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141383>. Acesso em: 28 mai. 2024.
- BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. **Illustrated Genera of Imperfect Fungi**. 4 ed. Minneapolis: Burgess, 1998. 217p.
- BASIONY, A. A.; AMER, G. A.; EL-KAFRAWY, A. A.; EL-ORABEY, W. M.; NAZIM, M. Potential of biotic and abiotic inducers of eliciting systemic resistance in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in controlling rust caused by *Uromyces appendiculatus*. **Egyptian Journal of Phytopathology**, v. 51, n. 2, p. 30–50, 2023. Disponível em: https://journals.ekb.eg/article_314865_0.html. Acesso em: 04/08/2024.
- BASSANEZI, R. B. **Efeito de doenças foliares na eficiência fotossintética do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) como contribuição na avaliação de danos**. 233p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de

Queiroz. Piracicaba, SP, 2000. Disponível em:
<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11135/tde-20191220-135346/publico/BassaneziRenatoBeozzo.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BELLO, T. C. D.; MATTOS, A. D. P.; GARBIN, E.; MENDES, S. D. C.; BOFF, M. I. C.; BOFF, P. Plant biostimulation and performance of dynamised high dilutions (DHDs) as elicitors of the resistance induction process in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 41, n. 4, p. 221–232, 2025. Disponível em:
<https://doi.org/10.1080/01448765.2025.2502766>. Acesso em: 12 ago. 2025.

BONALDO, S. M.; PASCHOLATI, S. F.; ROMEIRO, R. S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. In: CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. (Eds). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005, p. 11-28.

BRASIL - CONAB (Companhia Brasileira de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – décimo levantamento, safra 2020/21**. 2021. Disponível em:
<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 27 set. 2023.

BRASIL - CONAB (Companhia Brasileira de Abastecimento). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – quarto levantamento, safra 2025/26**. 2026. Disponível em:
https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/4o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-4o-levantamento_2026. Acesso em: 06 fev. 2026.

BRITO, O. D. C.; SCHONS, B. C.; CECATTO JUNIOR, R.; DALEVEDOVE, D. B.; FUJIMOTO, J. Y. H.; STANGARLIN, J. R. Proteins of *Pycnopus sanguineus* have nematicide activity and induce resistance to *Meloidogyne* spp. in Micro-Tom tomato plants. **Tropical Plant Pathology**, v. 50, art. 43, 2025. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-025-00729-w>. Acesso em: 04 jan. 2026.

BURUCHARA, R. A. **Determination of pathogenic variation in *Isariopsis griseola* Sacc. and *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola* (BURK, 1926) Young, Dye and Wilkie 1978**. 188p. Tese (Doctorate degree of Philosophy in Crop Science) – University of Nairobi. Nairobi, Quênia, 1983. Disponível em:
http://erepository.uonbi.ac.ke/bitstream/handle/11295/24311/BURUCHARA_Determination%20of%20pathogenic%20variation%20in%20isariopsis%20griseola%20sacc.%20and%20pseudomonas%20syringae?sequence=3. Acesso em: 10 mai. 2024.

CANALE, M. C.; RIBEIRO, L. P.; CASTILHOS, R. V.; WORDELL FILHO, J. A. Pragas e doenças do feijão: Florianópolis: Epagri, 2020, 93p. Disponível em:
<https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/1113/998>. Acesso em: 28 mai. 2024.

CHEN, Y. H. LI, Y. F.; WEI, H.; LI, X. X.; ZHENG, H. T.; DONG, X. Y.; XU, T. F.; MENG, J. F. Inhibition efficiency of wood vinegar on grey mould of table grapes. **Food Bioscience**, v. 38, p. 100755, dez., 2020. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429220310932>. Acesso em: 01 fev. 2023.

CHRISTMANN, P. E. T. P.; DALLA PRIA, M.; HENNIPMAN, H. S.; GODOY, A. R. *In vitro* control of *Colletotrichum lindemuthianum* by *Trichoderma* spp. and *in vivo* with Alternative Products. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, Jaipur, v. 6, n. 10, p. 74-80, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.610.12>. Acesso em: 04 mar. 2023.

COOPER, B.; CAMPBELL, K. B.; GARRETT, W. M. Salicylic acid and phytoalexin induction by a bacterium that causes halo blight in beans. **Phytopathology**, v. 112, p. 1766–1775, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-12-21-0496-R>. Acesso em: 12 ago. 2025

DALLA PRIA, M.; SILVA, O. C. Doenças causadas por fungos: diagnose e epidemiologia. In: DALLA PRIA, M.; SILVA, O. C. (org). **Cultura do feijão: Doenças e controle**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2018, p. 47-116. Disponível em: <https://www.editora.uepg.br/ebooks/ebook-cultura-do-feijao-doencas-e-controle>. Acesso em: 01 ago. 2023.

DANTAS, S. A. F.; TAVARES, S. C.; OLIVEIRA, S. M. A.; COELHO, R. S. B.; CAVALCANTI, R. L. X. S. Indutores abióticos de resistência a patógenos pós-colheita de manga. **Summa Phytopathologica**, Campinas, v. 30, p. 314-319, 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/155361/indutores-abioticos-de-resistencia-a-patogenos-pos-colheita-de-manga>. Acesso em: 10 out. 2023.

DENT, D. **Integrated Pest Management**. 1 ed. London: Chapman & Hall, 1995, p. 1-17. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BNVLxXDBVr8C&oi=fnd&pg=PP15&dq=integrated+pest+management&ots=Ix9c5kVCoU&sig=S3EizBeBrJJJa0-oumf4la35E3z0&redir_esc=y#v=onepage&q=integrated%20pest%20management&f=false. Acesso em: 30 set. 2023.

DEV, M.; DEV, V.; SINGH, K. P.; PANT, P.; RAWAT, S. Role of phytoalexins in plant disease resistance. In: KUMAR, R.; SANTANA DE OLIVEIRA, M.; ANDRADE, E. H. A.; SUYAL, D. C.; SONI, R. (Eds.). **Biorationals and Biopesticides: Pest Management**. 1. Ed., 2024. p. 127–140.

DIAZ-PUENTES, L. N. Resistencia sistémica adquirida mediada por el ácido salicílico. **Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 10, n.2, p. 257-267, jul./dez., 2012. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612012000200030&script=sci_arttext. Acesso em: 10 out. 2023.

DI PIERO, R. M.; GARCIA JR., D.; TONUCCI, N. M. Indutores bióticos. In: CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. (Eds). **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005, p. 29-50.

DIDONET, A. D., CARVALHO, M. A. F. Fisiologia. In: Gonzaga, A. C. O. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2 ed, Brasília: Embrapa, 2014, 247p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1014894/feijao-o-produtor-pergunta-a-embrapa-responde>. Acesso em: 30 set. 2023.

DILDEY, O. D. F. **Indução de resistência à antracnose do feijoeiro por frações de filtrado de cultura e extrato de micélio de *Trichoderma longibrachiatum***. 2017, 101 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon, 2017. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/3197>. Acesso em: 12 mar. 2023.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de Identificação das principais doenças do feijoeiro-comum**. Brasília: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2018. 49 p.

FESEL, P. H.; ZUCCARO, A. β -glucan: Crucial component of the fungal cell wall and elusive MAMP in plants. **Fungal Genetics and Biology**, v. 90, p. 53-60, mai., 2016.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1087184515300529?via%3Dihub>. Acesso em: 02 mai. 2024.

FREITAS, C. D. T.; COSTA, J. H.; GERMANO, T. A.; ROCHA, R. O.; RAMOS, M. V.; BEZERRA, L. P. Class III plant peroxidases: from classification to physiological functions. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 263, p. 130306, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130306>. Acesso em: 04 jan. 2026.

FREIRES, A. L. A.; FIGUEIREDO, F. R. A.; ALVES, T. R. C.; BARROSO, K. A.; SILVA, I. V. P.; SILVA, J. L. S.; NOGUEIRA, G. A.; MELO, N. J. A.; SALES JÚNIOR, R.; NEGREIROS, A. M. P.; AMBRÓSIO, M. M. Q. Alternative products in the management of powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) in melon. **Tropical Plant Pathology**, v. 47, p. 608–617, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-022-00518-9>. Acesso em: 04 jan. 2026.

GAO, T.; BIAN, R.; JOSEPH, S. D.; TAHERYMOOSAVI, S.; MITCHELL, D. R. G.; MUNROE, P.; XU, J.; SHI, J. Wheat straw vinegar: A more cost-effective solution than chemical fungicides for sustainable wheat plant protection. **Science of the Total Environment**, v. 725, p. 138359, jul. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340391761_Wheat_straw_vinegar_A_more_cost-effective_solution_than_chemical_fungicides_for_sustainable_wheat_plant_protection. Acesso em: 27 set. 2023

GARCÉS-FIALLOS, F. R.; DE QUADROS, F. M.; FERREIRA, C.; DE BORBA, M. C.; BOUZON, Z. L.; BARCELOS-OLIVEIRA, J. L.; STADNIK, M. J. Changes in xylem morphology and activity of defense-related enzymes are associated with bean resistance during *Fusarium oxysporum* colonization. **Protoplasma**, v. 259, p. 717–729, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00709-021-01691-5>. Acesso em: 04 jan. 2026.

GHINI, R.; KIMATI, H. **Resistência de fungos a fungicidas**. 2ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002, 78p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/13231>. Acesso em: 11 out. 2023.

GONTIJO NETO, G. F.; ANDRADE, J. M. B.; POZZA, E. A.; MARTINS, F. A. D.; SOARES, B. L.; BELAN, L. L.; CARDILLO, B. E. S. Controle da antracnose e da mancha angular do feijoeiro comum com indutores de resistência. **Nucleus**, Ituverava, v. 13, n. 2, p. 199-218, 2016. Disponível em:

<https://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/1635>. Acesso em: 10 out. 2023.

HEIL, M. Induction of two indirect defences benefits Lima Bean (*Phaseolus lunatus*, Fabaceae) in Nature. **Journal of Ecology**, n. 92, p. 527-536, mai., 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00890.x>. Acesso em: 10 out. 2023.

HUANG, C. H.; VALLAD, G. E.; ZHANG, S.; WEN, A.; BALOGH, B.; FIGUEIREDO, J. F. L.; BEHLAU, F.; JONES, J. B.; MOMOL, M. T.; OLSON, S. M. Effect of application frequency and reduced rates of acibenzolar-S-methyl on the field efficacy of induced resistance against bacterial spot on tomato. **Plant Disease**, v. 96, n. 2, p. 221–227, fev., 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30731800/>. Acesso em: 10 out. 2023.

HÜCKELHOVEN, R.; SCHOUTEN, A. Plant immunity and plant defense. In: OLIVER, R. P. (Ed.); **Agrios' Plant Pathology**. 6. ed. Cambridge: Academic Press, 2022. p. 161–210.

KARUPPIAH, V.; HE, A.; LU, Z.; WANG, X.; LI, Y.; CHEN, J. *Trichoderma asperellum* GDFS1009-mediated maize resistance against *Fusarium graminearum* stalk rot and mycotoxin degradation. **Biological Control**, v. 174, p. 105026, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105026>. Acesso em: 14 fev. 2025.

LABANCA, E. R. G. **Purificação parcial de elicitores presentes em *Saccharomyces cerevisiae*: atividade como indutores de resistência em pepino (*Cucumis sativus*) contra *Colletotrichum Iagenarium* e da síntese de gliceolinas em soja (*Glycine max*)**. 107p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11135/tde-03092002-170446/publico/elaine.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2024.

LI, Z.; XIONG, K.; WEN, W.; LI, L.; XU, D. Functional endophytes regulating plant secondary metabolism: current status, prospects and applications. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 2, p. 1153, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms24021153>. Acesso em: 14 nov. 2025.

LI, C.; ZHA, W.; LI, W.; WANG, J.; YOU, A. Advances in the biosynthesis of terpenoids and their ecological functions in plant resistance. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 14, p. 11561, 2023b. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms241411561>. Acesso em: 14 nov. 2025

MAUCH-MANI, B.; BACCELLI, I.; LUNA, E.; FLORS, V. Preparação da defesa: uma parte adaptativa da resistência induzida. **Annual Review of Plant Biology**, v. 68, p. 485–512, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042916-041132>. Acesso em: 04 jan. 2026.

MONDA, E. T.; SANDERS, F. E.; HICK, A. Infection and colonization of bean leaf by *Phaeoisariopsis griseola*. **Plant Pathology**, Honolulu, v. 50, n. 1, p. 103-110, fev. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00537.x>. Acesso em: 02 fev. 2023.

MUÑOZ-SÁNCHEZ, A.; VÁZQUEZ-FLOTA, F. El metabolismo secundario, no es tan secundario. **Desde el Herbario CICY**, v. 16, p. 239–243, 2024. Disponível em:

<https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/3162/1/2024-11-21-AMunoz-El-metabolismo-secundario-no-es-tan-secundario.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2025.

NUTSUKPO, E. B.; OFORI, P. A.; OFOE, R.; KUMAR, A. P.; ASIEDU, S. K.; EMINIKE, C.; ABBEY, L. Grapevine response to pyroligneous acid: antifungal, physiological, and biochemical impacts. **Crops**, v. 5, n. 2, p. 21, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/crops5020021>. Acesso em: 04 jan. 2026.

O'BRIEN, P. A. Biological control of plant diseases. **Australasian Plant Pathology**, Calyton, v. 46, n. 4, p. 293-304, mar., 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13313-017-0481-4>. Acesso em: 28 jul. 2023.

OFOE, R.; GUNUPURU, L. R.; WANG-PRUSKI, G.; FOFANA, B.; THOMAS, R. H.; ABBEY, L. Seed priming with pyroligneous acid mitigates aluminum stress, and promotes tomato seed germination and seedling growth. **Plant Stress**, v. 4, p. 100083, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100083>. Acesso em: 07 jan. 2026.

OLIVEIRA, L. F. C. *et al.* Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos. Embrapa Arroz e Feijão – **Livro Técnico (INFOTECA-E)**, 61p. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085830/conhecendo-a-fenologia-do-feijoeiro-e-seus-aspectos-fitotecnico>. Acesso em: 30 out. 2023.

PANDEY, V. P.; AWASTHI, M.; SINGH, S.; TIWARI, S.; DWIVEDI, U. A comprehensive review on function and application of plant peroxidases. **Analytical Biochemistry**, v. 6, n. 1, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000308>. Acesso em: 04 jan. 2026.

PAULA JÚNIOR, T. J.; WENDLAND A. **Melhoramento genético do feijoeiro- comum e prevenção de doenças**. Viçosa: EPAMIG Zona da Mata, 2012. 157p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/204787/melhoramento-genetico-do-feijoeiro-comum-para-resistencia-a-doencas>. Acesso em: 12 out. 2023.

PEITL, D. C. **Fungos sapróbios do semiárido nordestino para controle do mofo branco da soja e da mancha bacteriana do tomateiro**. 56p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2015. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000203613&print=y>. Acesso em: 12 out. 2023.

PEITER-BENINCA, C.; FRANZENER, G.; ASSI, L.; IURKIV, L.; ECKSTEIN, B.; COSTA, V. C. NOGUEIRA, M. A.; STANGARLIN, J. R.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Phytoalexin induction and peroxidase activity in sorghum and soybean treated with basidiocarp extracts of *Pycnoporus sanguineus*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 75, p. 285-292, jul./set., 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657v75p2852008>. Acesso em: 10 out. 2023.

PIGNATI, W. Uso de agrotóxicos no Brasil: Perspectiva da saúde do trabalhador e ambiente. **Revista Brasileira de Medicina Do Trabalho**, v. 16, n. 1, p. 37–37, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/z16794435201816s1019>. Acesso em 6 out. 2023.

PITTNER, E.; MAREK, J.; BORTULI, D.; KNOB, A.; SANTOS, L. A.; FARIA, C. M. D. R. Induction of phytoalexins in sorghum, soybean and beans by suspension of endophytic fungi.

Publicações Biológicas, v. 24, n. 1, p. 7–12, 2018. Disponível em:
<https://doi.org/10.5212/Publ.Biologicas.v.24i1.0001>. Acesso em: 04 jan. 2026.

REGLINSKI, T.; LYON, G. D.; NEWTON, A. C. Assessment of the ability of yeast-derived elicitors to control barley powdery mildew in the field. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 101, n. 1, p. 1-10, fev., 1994. Disponível em:
https://www.jstor.org/stable/43386243?casa_token=HPrzBCz7WnoAAAAA%3AEmyVeJws5sZLFsakutS4rBBxeagp_kngNuhYXkEtefpTT7gdGNAa_4gl1e9IUumMXPrfJgrf9dBHU42Rh tWQwUEwqajwnlEPhCO9A4kWBxKUYCPO0Zs1xwA. Acesso em: 06 mai. 2024.

REGLINSKI, T.; LYON, G. D.; NEWTON, A. C. The control of *Botrytis cinerea* and *Rhizoctonia solani* on lettuce using elicitors extracted from yeast cell walls. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 102, n. 3, p. 257-266, jun., 1995. Disponível em:
https://www.jstor.org/stable/43386410?casa_token=OycVUCDakk8AAAAA%3ARqIwcGlv6SLR2iN0FPyLT8YPYx9emK4vPbKirT_rH9_cGf1u9ZjV2F41OTeUef9OjCY5DxZSP3UKSxpeOR5hrSGqt3BClv_eS4qtXeW8x7NZB0xSFoNxQw. Acesso em: 06 mai. 2024.

REZALOU, Z.; SHAHBAZI, S.; ALILOU, A. A.; GHORBANI, A. Biostimulant impact of *Trichoderma* species on physiological characteristics of beans. **Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 12, n. 2, p. 37–48, 2023. Disponível em:
https://www.researchgate.net/profile/Abozar-Ghorbani-3/publication/379048187_Biostimulant_impact_of_Trichoderma_species_on_physiological_characteristics_of_beans/links/65f88f1f32321b2cff8c3ed4/Biostimulant-impact-of-Trichoderma-species-on-physiological-characteristics-of-beans.pdf. Acesso em: 04 jan. 2026.

REZENDE, J. A. M.; MASSOLA JÚNIOR, N. S.; BEDENDO, I. P. Conceito de doença, sintomatologia e diagnose. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia**, v. 1: Princípios e Conceitos. Ouro Fino: Agronômica Ceres, 2019, p. 27-43.

RINELLA, M. J. MAXWELL, B. D.; FAY, P. K.; WEAVER, T.; SHELEY, R. L. Control Effort Exacerbates Invasive-Species Problem. **Ecological Society of America**, Washington, v. 19, n.1, p. 155-162, jan. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/07-1482.1>. Acesso em: 17 ago. 2023.

ROBAYO, M. Y. D.; GUTIÉRREZ, M. C. Mecanismos de Resistencia Sistémica em Plantas. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, n. 2, p. 1-19, 2014. Disponível em:
<https://saber.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/10277/7380>. Acesso em: 10 out. 2023.

SANTOS, J. B. *et al.* Botânica. In: CARNEIRO, J. E.; PAULA JÚNIOR, T. J. de.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. Viçosa: UFV. 2015. p. 38-66.

SILVA, C. J.; KARSBURG, I. V.; DIAS, P. C.; ARRUDA, T. P. M. Pyroligneous liquor effect on, in and ex vitro production of *Oecoclades maculata* (Lindl). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, p. 947-954, out./dez., 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n415rc>. Acesso em: 27 set. 2023.

SILVA, H. T. **Caracterização morfológica, agronômica e fenológica de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Goiânia, GO: Centro Nacional de Pesquisa – Arroz e Feijão,

1981. 52 p.

STEMBERG, J. A. A conceptual framework for Integrated Pest Management. **Trends in Plant Science**, v. 22, n. 9, p.759-769, set., 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.06.010>. Acesso em: 29 set. 2023.

TAVARES, T.; SOUSA, S.; SALGADOS, F.; SANTOS, G.; LOPES, M.; FIDELIS, R. Adaptabilidade e estabilidade da produção de grão em feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 210-220, out., 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.19084/RCA16058>. Acesso em: 02 out. 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

THEAPPARAT, Y.; CHANDUMPAI, A.; LEELASUPHAKUL, W.; LAEMSAK, N. Pyroligneous acids from carbonisation of wood and bamboo: their components and antifungal activity. **Journal of Tropical Forest Science**, p. 517-526, out., 2015. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/43596228>. Acesso em: 27 set. 2023.

THRANE, C.; JENSEN, D. F.; TRONSMO, A. Substrate colonization, strain competition, enzyme production *in vitro*, and biocontrol of *Pythium ultimum* by *Trichoderma* spp. isolates P1 and T3. **European Journal of Plant Pathology**, v. 106, n. 3, p. 215-225, mar., 2000. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1008798825014>. Acesso em: 14 set. 2023.

TOILLIER, S. L.; IURKIV, L.; MEINERZ, C. C.; BALDO, M.; VIECELLI, C. A.; KUHN, O. J.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. E.; STANGARLIN, J. R. Controle de cretamento bacteriano comum (*Xanthomona axonopodis* pv. *phaseoli*) e alterações bioquímicas em feijoeiro induzidas por *Pycnoporus sanguineus*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, p. 99-110, jan./mar., 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657v77p0992010>. Acesso em: 14 set. 2023.

TWAMLEY, T.; GAFFNEY, M.; FEECHAN, A. A Microbial Fermentation Mixture Primes for Resistance Against Powdery Mildew in Wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p.1-12, out., 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.01241/full>. Acesso em: 07 jul. 2023.

VELMURUGAN, S.; ASHAJYOTHI, M.; CHARISHMA, K.; KUMAR, S.; BALAMURUGAN, A.; JAVED, M.; KARWA, S.; PRAKASH, G.; SUBRAMANIAN, S.; GOGOI, R.; EKE, P.; KUMAR, A. Enhancing defense against rice blast disease: unveiling the role of leaf endophytic firmicutes in antifungal antibiosis and induced systemic resistance. **Microbial Pathogenesis**, v. 184, p. 106326, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2023.106326>. Acesso em: 04 jan. 2026.

VIECELLI, C. A.; STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Indução de resistência em feijoeiro a mancha angular por extratos de micélio de *Pycnoporus sanguineus*. **Summa Phytopathologica**, Campinas, v. 36, n. 1, p. 73-80, mar. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052010000100013>. Acesso em: 14 set. 2023.

WANG, Y.; QIU, L.; SONG, Q.; WANG, S.; WANG, Y.; GE, Y. Root proteomics reveals the effects of wood vinegar on wheat growth and subsequent tolerance to drought stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 4, p. 943, fev. 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6413028/>. Acesso em: 27 set. 2023.

WAHEED, A.; HAXIM, Y.; KAHAR, G.; ISLAM, W.; AHMAD, M.; KHAN, K. A.; GHRAH, H. A.; ALQAHTANI, F. M.; HASHMAND, M.; ZHANG, D. Y. Jasmonic acid boosts the salt tolerance of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by upregulating its osmolytes and antioxidant mechanism. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 91237–91246, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-28632-4>. Acesso em: 04 jan. 2026.

WENDLAND, A.; MOREIRA, A. S.; BIANCHINI, A.; GIAMPAN, J. S.; LOBO JR, M. Doenças do Feijoeiro. In: AMORIM, L. *et al.* (orgs). **Manual de Fitopatologia**, Doenças das Plantas Cultivadas. 5 ed. Ouro Fino, MG: Editora Agronômica Ceres, vol 2: 2016, p. 383-400.

YAHAYU, M.; MAHMUD, K. N.; MAHAMAD, M. N.; SULAIMAN, N.; LIPEH, S.; UJANG, S.; ZAKARIA, Z. A. Efficacy of pyroligneous acid from pineapple waste biomass as wood preserving agent. **Jurnal Teknologi**, v. 79, n. 4, abr. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/316603618_Efficacy_of_pyroligneous_acid_from_pineapple_waste_biomass_as_wood_preserving_agent. Acesso em: 02 mai. 2024.

YAGUCHI, T.; KINAMI, T. ISHIDA, T.; YASUHARA, T; TAKAHASHI, K; MATSUURA, H. Induction of plant disease resistance upon treatment with yeast cell wall extract. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 81, n. 11, p. 2071-2078, nov. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09168451.2017.1379351>. Acesso em: 08 jul. 2023.

ZAUMEYER, W. J.; THOMAS, H. R. A **Monographic study of bean diseases and methods for their control**. Washington: United States Department of Agriculture (USDA), 1957, 255p. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/169625/files/tb868.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

ZEFERINO, I; LIMA, E.; VIEIRA, E. S. N. Uso do extrato pirolenhoso como adjuvante de herbicida. **Comunicado Técnico** n. 429, 4p. Embrapa, dez. 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191243/1/CT-429-1660-final2.pdf>. Acesso em: 27 set. 2023.

ZHANG, S. Recent advances of polyphenol oxidases in plants. **Molecules**, v. 28, n. 5, p. 2158, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules28052158>. Acesso em: 04 jan. 2026.

ZHANG, L.; YAN, Y.; ZHU, J.; XIA, X.; YUAN, G.; LI, S.; DENG, B.; LUO, X. Quinone pool, a key target of plant flavonoids inhibiting gram-positive bacteria. **Molecules**, v. 28, n. 13, p. 4972, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules28134972>. Acesso em: 06 jan. 2026.

ZHENG, F.; FU, Y.; YU, P.; QIN, C.; GUO, T.; XU, H.; CHEN, J.; AHAMMED, G. J.; LIU, A.; CHEN, S. Flavonoid synthesis is crucial for *Trichoderma asperellum*-induced systemic resistance to root-knot nematodes in tomato plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.

212, p. 108706, 2024. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0981942824003747>. Acesso em: 03 jan. 2025.

ZHOU, H.; FU, K.; SHEN, Y.; LI, R.; SU, Y.; DENG, Y.; XIA, Y.; ZHANG, N.
Physiological and biochemical mechanisms of wood vinegar-induced stress response against tomato *Fusarium* wilt disease. **Plants**, v. 13, n. 2, p. 157, 2024. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/plants13020157>. Acesso em: 04 jan. 2026.

ZIMMERMAN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. A. Cultura do Feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo**. Piracicaba – SP. 1988.

CAPÍTULO 2 - PRODUTOS PARA PROTEÇÃO DE PLANTAS DE FEIJÃO À MANCHA ANGULAR

RESUMO

O manejo sustentável da mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) é essencial para reduzir o impacto ambiental causado pelo uso indiscriminado de fungicidas. Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de produtos indutores de resistência no manejo da doença em condições *in vitro* e *in vivo*, sob cultivo protegido e em campo. Foram testados dez tratamentos: metabólitos termoestáveis de *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma endophyticum*, *Trichoderma lentiforme* e *Pycnopus sanguineus*, extrato pirolenhoso, fertilizante mananoligossacarídeo (AGROMOS®), produto de fermentação microbiana à base de *Saccharomyces cerevisiae*, acibenzolar-S-metílico (Bion®), fungicida azoxistrobina + ciproconazol (Amistar Top®) e a testemunha sem aplicação. No experimento *in vitro*, foram avaliados o Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) e a esporulação das colônias do patógeno submetidas aos tratamentos adicionados em meio de cultura fundente. AGROMOS® e Amistar Top® (primeira repetição), bem como o extrato de *T. lentiforme* (segunda repetição), apresentaram os menores IVCM, diferindo da testemunha. A esporulação de *P. griseola* também foi reduzida por AGROMOS®, pelo produto de fermentação microbiana e pelos extratos de *T. asperellum*, *T. endophyticum* e Amistar Top® (primeira repetição), em comparação à testemunha. Na segunda repetição, todos os tratamentos reduziram a esporulação em relação ao controle, evidenciando efeito direto dos produtos sobre o crescimento e a reprodução do patógeno. Com relação aos experimentos *in vivo*, realizados em casa de vegetação e campo, os tratamentos foram pulverizados nas plantas das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru. Foram avaliadas as severidades da doença conforme escala diagramática e calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Em casa de vegetação, plantas das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, tratadas e inoculadas com o patógeno (*Pseudocercospora griseola*), não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos para a AACPD, embora a cultivar IPR-Uirapuru tenha apresentado menor progresso da doença. Em campo, devido à baixa severidade da mancha angular e antracnose nas duas safras, os tratamentos não apresentaram efeito na redução da AACPD da mancha angular e antracnose e não houveram diferenças nos componentes de rendimento e na produtividade das cultivares.

Palavras-chave: *Pseudocercospora griseola*; *Phaseolus vulgaris*; *Trichoderma* spp.; *Pycnopus sanguineus*; indutores de resistência.

CHAPTER 2 - ALTERNATIVE PRODUCTS FOR THE PROTECTION OF COMMON BEAN PLANTS AGAINST ANGULAR LEAF SPOT

ABSTRACT

Sustainable management of angular leaf spot (*Pseudocercospora griseola*) in common bean (*Phaseolus vulgaris*) is essential to reduce the environmental impact caused by the indiscriminate use of fungicides. Therefore, this study aimed to evaluate the efficiency of alternative products and resistance inducers in disease management under in vitro and in vivo conditions, in protected cultivation and field environments. Ten treatments were tested: extracts of *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma endophyticum*, *Trichoderma lentiforme*, *Pycnoporus sanguineus*, pyroligneous extract, mannan-oligosaccharide fertilizer (AGROMOS®), a microbial fermentation product based on *Saccharomyces cerevisiae*, acibenzolar-S-methyl (Bion®), the fungicide azoxystrobin + cyproconazole (Amistar Top®), and an untreated control. In the in vitro experiment, the Mycelial Growth Rate Index (MGRI) and sporulation of pathogen colonies subjected to treatments incorporated into molten culture medium were evaluated. AGROMOS® and Amistar Top® (first repetition), as well as the extract of *T. lentiforme* (second repetition), showed the lowest MGRI values, differing from the control. Sporulation of *P. griseola* was also reduced by AGROMOS®, the microbial fermentation product, and the extracts of *T. asperellum*, *T. endophyticum*, and Amistar Top® (first repetition), compared to the control. In the second repetition, all treatments reduced sporulation relative to the control, indicating a direct effect of the products on pathogen growth and reproduction. In the in vivo experiments, carried out in greenhouse and field conditions, the treatments were sprayed on plants of the cultivars IPR-Curió and IPR-Uirapuru. Disease severity was assessed using a diagrammatic scale, and the area under the disease progress curve (AUDPC) was calculated. In the greenhouse, treated and inoculated plants of both cultivars did not show statistically significant differences among treatments for AUDPC, although IPR-Uirapuru exhibited lower disease progress. In the field, due to the low severity of angular leaf spot and anthracnose in both growing seasons, the treatments showed limited effect in reducing AUDPC for both diseases and did not influence yield components or grain productivity of the cultivars.

Keywords: *Pseudocercospora griseola*; *Phaseolus vulgaris*; *Trichoderma* spp; *Pycnoporus sanguineus*; Resistance inducers.

2.1 INTRODUÇÃO

O manejo sustentável de doenças permanece como um dos principais desafios da agricultura, especialmente diante da necessidade de garantir a segurança alimentar e reduzir os impactos ambientais associados ao uso intensivo de fungicidas químicos. As crescentes preocupações com a contaminação ambiental e com a seleção de populações de patógenos resistentes têm intensificado a busca por estratégias alternativas capazes de manter a eficiência fitossanitária e a sustentabilidade (Venzon *et al.*, 2021). Nesse contexto, manejos baseados em produtos alternativos e na indução de resistência têm emergido como ferramentas no manejo de fitopatógenos em diferentes sistemas de cultivo.

Os produtos alternativos englobam insumos bióticos ou abióticos que podem substituir ou complementar os fungicidas convencionais, atuando por mecanismos diretos, como atividade antimicrobiana, ou indiretos, através da ativação de vias de defesa das plantas (Gabardo *et al.*, 2022; Gazola *et al.*, 2024). Em razão de sua maior biodegradabilidade, amplo espectro de ação e menor probabilidade de seleção de linhagens resistentes de patógenos, esses produtos apresentam potencial para integração em programas de manejo de doenças.

Entre os produtos alternativos, destacam-se os extratos vegetais, metabólitos microbianos, biofertilizantes, indutores de resistência e microrganismos antagonistas, incluindo fungos e bactérias. Espécies pertencentes aos gêneros *Trichoderma*, *Pycnoporus* e *Saccharomyces* são frequentemente utilizadas devido à sua capacidade de produzir compostos antimicrobianos, competir por nutrientes e espaço ou atuar como elicitores de respostas de defesa nas plantas (Chávez-Avilés *et al.*, 2024; Pérez-López *et al.*, 2024; Yadav; Dubey; Upadhyay, 2021). Outras substâncias, como o extrato pirolenhoso, também têm demonstrado atividade antifúngica e capacidade de induzir resistência (Silva, 2022).

Na produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), aponta-se a elevada suscetibilidade da cultura a doenças foliares. Dentre elas, destaca-se a mancha angular, causada por *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & U. Braun, patógeno de ampla distribuição geográfica e elevado impacto econômico. A doença provoca lesões em folhas, hastes e vagens, podendo resultar em danos de produtividade superiores a 80% sob condições climáticas favoráveis e na ausência de estratégias de controle (EMBRAPA, 2018).

A integração de produtos alternativos no manejo da mancha angular em feijão é fundamental, especialmente considerando a importância socioeconômica da cultura no Brasil. Estudos demonstram que os produtos alternativos podem apresentar desempenho igual ou superior ao controle químico convencional no manejo de doenças fúngicas na cultura do feijão (Assunção *et al.*, 2020; Christmann *et al.*, 2023). Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de diferentes produtos alternativos no manejo da mancha angular, em condições de laboratório (*in vitro*) e em plantas cultivadas sob ambiente protegido e a campo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em condições laboratoriais, de casa de vegetação e de campo nas dependências da Universidade Estadual de Ponta Grossa, em Ponta Grossa, Paraná. Foram testados os produtos à base de metabólitos termoestáveis de fungos do gênero *Trichoderma* e *Pycnoporus sanguineus*, extrato pirolenhoso, fertilizante mananoligossacarídeo,

produto de fermentação microbiana, acibenzolar-S-metílico (Bion[®]) e fungicida azoxistrobina + ciproconazol (AMISTAR TOP[®]) (Tabela 2.1).

TABELA 2.1 – Tratamentos e suas respectivas concentrações utilizados nos experimentos *in vitro* e *in vivo*. Ponta Grossa/PR, 2026.

Tratamento	Concentração
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	25% v/v
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	25% v/v
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	25% v/v
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	25% v/v
Extrato pirolenhoso ¹	5 mL L ⁻¹
Fertilizante mananoligossacarídeo (AGROMOS [®]) ²	3 mL L ⁻¹
Produto de fermentação microbiana	2,5 mL L ⁻¹
Bion ^{®3}	0,125 g L ⁻¹
(AMISTAR TOP ^{®4}	0,625 mL L ⁻¹
Água destilada e esterilizada (Controle)	-

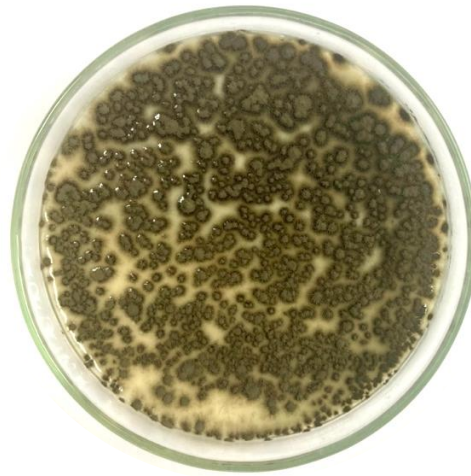
Fonte: a autora.
Notas: Volume de aplicação considerado: 200 L ha⁻¹. ¹EPB Brasil (2022); ²ALLTECH (2012); ³ADAPAR (2022); ADAPAR (2021).

Com objetivo de manter colônias do patógeno para a realização dos experimentos *in vitro* e em casa de vegetação, foram utilizadas placas de Petri, contendo meio de cultura aveia-ágar (Scortegagna *et al.*, 2024), nas quais o patógeno foi repicado por meio de suspensão de esporos (Figura 2.1). Já as espécies de antagonistas foram mantidas em placas contendo meio batata-dextrose-ágar (BDA).

2.2.1 Metabólitos de Fungos Sapróbios

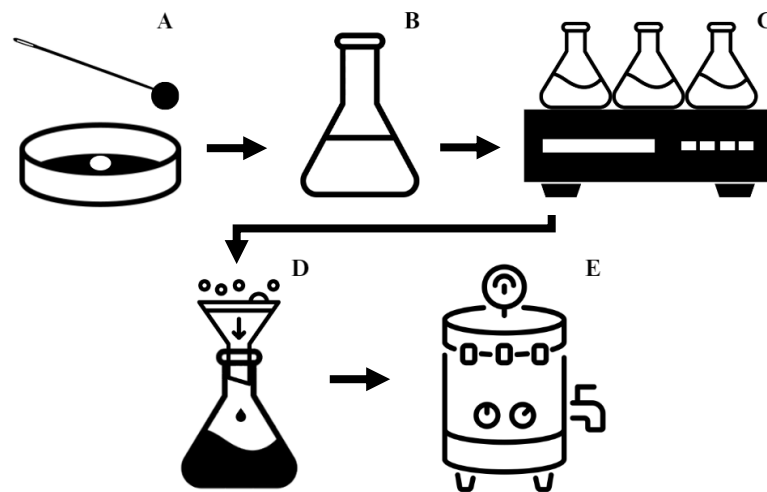
Após o desenvolvimento dos fungos sapróbios em meio BDA por 14 dias, em câmara tipo BOD a 24 ± 2°C, foram extraídos dez discos de colônias, com área total de aproximadamente 3 cm². Estes discos foram transferidos para erlenmeyers contendo 150 mL de meio batata-dextrose esterilizado em autoclave por 20 minutos, 1 atm de pressão e 121°C. Os meios líquidos com as colônias foram então submetidos à agitação durante 7 dias, no escuro, em agitador orbital a 150 rpm e temperatura de 25 ± 2°C (Isaias *et al.*, 2014). Após a incubação, os meios contendo os metabólitos foram filtrados em filtro de papel e autoclavados novamente, a fim de se obter apenas os metabólitos termoestáveis (Figura 2.2).

FIGURA 2.1 – Colônias de *Pseudocercospora griseola* repicadas por suspensão de esporos em meio aveia *in vitro*.



Fonte: a autora.

FIGURA 2.2 – Esquema de preparação dos metabólitos de fungos sapróbios. A – Extração dos discos de micélio dos fungos sapróbios; B – transferência para meio líquido batata-dextrose; C – agitação e fermentação dos fungos sapróbios na ausência de luz; D – filtragem dos meios com as colônias dos fungos; E – esterilização para obtenção dos metabólitos termoestáveis.



Fonte: a autora.

2.2.2 Testes *In Vitro*

Os testes *in vitro* consistiram em análises do efeito dos produtos sobre o crescimento e a esporulação do fungo fitopatogênico *P. griseola*. Os experimentos foram repetidos duas vezes.

Para avaliação da sensibilidade do fitopatógeno aos produtos a base de extrato pirolenhoso, fertilizante mananoligossacarídeo, produto de fermentação microbiana, indutor de

resistência e fungicida (Tabela 2.1), utilizou-se a incorporação do ingrediente ativo ao meio de cultura fundente. Essa técnica consiste em dissolver os produtos no meio, seguindo-se as concentrações estabelecidas em bula pelos fabricantes.

Para a avaliação com os fungos sapróbios (Tabela 2.1), utilizou-se também a técnica de incorporação ao meio de cultura, porém, com o uso dos metabólitos produzidos em meio líquido. Depois de esterilizados, os extratos de fungos (Figura 2.2), foram incorporados ao meio de cultura aveia-ágar, fundente, na proporção de 25% v/v, acrescidos de estreptomicina ($0,03\text{g.L}^{-1}$). Os meios acrescidos dos produtos foram então vertidos em placas de Petri de vidro ($90 \times 15 \text{ mm}$), previamente esterilizadas.

Após a solidificação do meio, foram repicados os discos de micélio de *P. griseola* e as placas fechadas e lacradas com plástico filme, mantidas em câmara tipo BOD a $24 \pm 2^\circ\text{C}$, na ausência de luz. O delineamento experimental estabelecido foi inteiramente aleatorizado, com oito repetições, considerando-se cada placa de Petri como uma repetição.

Em todos os testes *in vitro* foi avaliado o crescimento micelial durante 15 dias, através da medição diária do diâmetro da colônia do fungo, em dois eixos opostos, com auxílio de régua milimetrada, calculando-se a média para cada repetição. Posteriormente, os valores foram submetidos à fórmula descrita por Oliveira (1991), para cálculo do Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM):

$$IVCM = \sum \frac{(D - Da)}{N}$$

na qual, D é o diâmetro médio atual da colônia (média entre as medidas de diâmetro em dois eixos opostos), Da é o diâmetro médio da colônia no dia anterior e N é o número de dias após a repicagem.

Ao fim dos 15 dias, a avaliação da esporulação do fungo fitopatogênico foi realizada através da contagem dos esporos com o auxílio de microscópio ótico e câmara de Neubauer. Para cada tratamento, foram selecionadas cinco repetições aleatoriamente e coletadas as colônias do fitopatógeno com o auxílio de uma pinça.

Essas colônias foram então transferidas para um béquer contendo 1 mL de água destilada e esterilizada. Com o auxílio de um pincel de cerdas macias, foi raspada a superfície da colônia, para a liberação dos esporos na água. A suspensão de esporos foi transferida com auxílio de uma micropipeta para a câmara de Neubauer, procedendo-se a contagem de esporos mL^{-1} (Marques; Monteiro; Pereira, 2004).

2.2.3 Testes em Casa de Vegetação

Foram realizados testes em casa de vegetação com o objetivo de verificar se os produtos utilizados nos testes *in vitro*, aplicados via foliar em plantas de feijão foram eficientes em reduzir a severidade de mancha angular. Para isso, vasos plásticos, com três litros de capacidade, foram preenchidos com substrato comercial para cultivo em vasos, com três sementes das cultivares IPR-Uirapuru (feijão preto) e IPR-Curió (feijão carioca).

A cultivar IPR-Curió é feijão do tipo carioca, com hábito de crescimento determinado e porte ereto. Seu ciclo é superprecoce, com aproximadamente 70 dias a partir da emergência à colheita e o potencial produtivo é de 3.900 kg ha⁻¹. O material possui resistência à ferrugem (*Uromyces appendiculatus* (Pers) Unger), oídio (*Oidium* spp.) e mosaico comum (*Bean common mosaic virus*), além de ser moderadamente resistente à murcha de *Curtobacterium* (*Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* (Hedges) Collins & Jones) e ao crestamento bacteriano (*Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli* (Smith) Vaut). É, no entanto, suscetível à mancha angular e à antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magn.) Bri. & Cav) (IDR-PARANÁ, 2013).

A cultivar IPR-Uirapuru, de feijão preto, tem hábito de crescimento do tipo indeterminado e porte ereto. Seu ciclo apresenta em média 85 dias da emergência à colheita e a cultivar tem potencial produtivo de 3700 kg ha⁻¹. É suscetível à mancha angular e a antracnose, mas resistente à ferrugem, oídio e mosaico comum (IDR-PARANÁ, 2000).

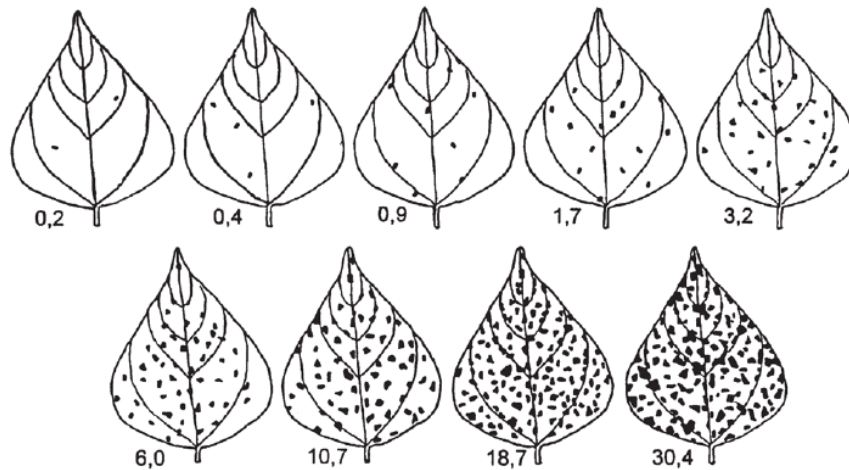
Foram realizadas duas repetições para o experimento em casa de vegetação, as quais ocorreram sob delineamento em blocos aleatorizados, com quatro repetições. Cada repetição consistiu em dois vasos contendo uma planta mais vigorosa, selecionada após a emergência.

As aplicações dos tratamentos (Tabela 2.1) foram realizadas com o auxílio de um pulverizador manual, no estágio vegetativo V3 (primeiro trifólio desenvolvido). Para todos os tratamentos foram aplicados 10 mL, por planta, da calda contendo o respectivo produto dissolvido em água, com exceção da testemunha, na qual foi aplicada apenas a água destilada e esterilizada.

Foi realizada a inoculação do patógeno *P. griseola* 72 horas após a aplicação dos tratamentos. O isolado utilizado para a produção da suspensão de inóculo é Ponta Grossa/PR e sua concentração de inóculo foi de 2,5 conídios 10⁶ mL⁻¹ proveniente de colônias esporuladas do patógeno em meio de cultura aveia-ágar.

Após o aparecimento dos primeiros sintomas da doença nas folhas, foram realizadas avaliações de severidade com auxílio da escala diagramática proposta por Godoy *et al.* (1996) (Figura 2.3).

FIGURA 2.3 – Escala diagramática para a avaliação da severidade (porcentagem de área foliar coberta por sintomas) de mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*).



Fonte: Godoy *et al.* (1996).

As diferenças na duração do ciclo das cultivares, associadas à senescência foliar, resultaram na realização de 8 e 10 avaliações de severidade nas repetições 1 e 2, respectivamente. As avaliações ocorreram com intervalo de cinco dias, avaliando-se as folhas cotiledonares até o quarto trifólio. Com os dados obtidos nas avaliações de severidade, foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) pela fórmula proposta por Shaner e Finney (1977):

$$AACPD = \sum_i^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) / (t_{i+1} - t_i)$$

na qual, n é o número de avaliações, y é a proporção da doença e $(t_{i+1} - t_i)$ o intervalo de avaliações consecutivas.

2.2.4 Testes em Campo

Os experimentos à campo foram realizados em duas safras: 2024 e 2025, em área sob sistema de plantio direto sobre a palha na Fazenda Escola Capão da Onça (UEPG). O manejo de adubação, controle de daninhas e insetos seguiu as recomendações técnicas da cultura. As cultivares utilizadas foram IPR-Curió e IPR-Uirapuru.

Para a aplicação dos tratamentos (Tabela 2.1) foi utilizado um pulverizador costal pressurizado por CO₂, com barra de 2 m, e o volume de calda foi estabelecido em 200 L ha⁻¹. As pulverizações foram realizadas respeitando-se as condições ideais, com umidade relativa do ar acima de 55%, temperatura abaixo de 30°C e velocidade do vento entre 3,0 e 10,0 km h⁻¹.

Foram realizadas quatro aplicações dos tratamentos a partir do estágio fenológico V3, com intervalo de sete a dez dias (Tabela 2.2). As avaliações de severidade de mancha angular, por sua vez, iniciaram a partir do surgimento dos sintomas, seguindo a escala diagramática proposta por Godoy *et al.* (1996) (Figura 2.3). Com os dados obtidos, foi realizado o cálculo da AACPD.

Ao fim do ciclo da cultura, foram avaliadas ainda as variáveis de produtividade e componentes de rendimento (grãos por vagem, número de vagens por planta, número de plantas por metro). O delineamento experimental foi estabelecido em blocos aleatorizados com 10 tratamentos e quatro repetições, a fim de atender possíveis heterogeneidades na área experimental.

TABELA 2.2 – Aplicações dos tratamentos, avaliações de severidade da mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) e outros dados relacionados ao cultivo em campo de feijão (*Phaseolus vulgaris*) nas safras de 2024 e 2025. Ponta Grossa/PR, 2026.

(continua)

SAFRA 2024				
Atividade	Data	DAE	Estádio Fenológico	
			IPR-Curió	IPR-Uirapuru
Semeadura	04/01/2024	-	-	-
Emergência	10/01/2024	0	V1	V1
Aplicação dos tratamentos	06/02/2024	27	V3	V3
	16/02/2024	37	R6	R5
	23/02/2024	44	R7	R6
	01/03/2024	51	R8	R7
Avaliações de severidade	08/02/2024	29	V4	V3
	15/02/2024	36	R6	R5
	22/02/2024	43	R7	R6
	01/03/2024	51	R8	R7
	08/03/2024	58	R8	R8
	14/03/2024	64	R8	R8
	21/03/2024	71	R8	R8
	29/03/2024 ^U	79	R9	R8
	04/04/2024 ^U	85	R9	R8
Avaliação componentes de rendimento	05/04/2024 ^C	86	R9	-
	19/04/2024 ^U	100	-	R9
Colheita	05/04/2024 ^C	86	R9	-
	19/04/2024 ^U	100	-	R9

TABELA 2.2 – Aplicações dos tratamentos, avaliações de severidade da mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) e outros dados relacionados ao cultivo em campo de feijão (*Phaseolus vulgaris*) nas safras de 2024 e 2025. Ponta Grossa/PR, 2026.

(conclusão)				
SAFRA 2025				
Atividade	Data	DAE	Estádio Fenológico	
			IPR-Curió	IPR-Uirapuru
Semeadura	09/01/2025	-	-	-
Emergência	15/01/2025	0	V1	V1
Aplicação dos tratamentos	10/02/2025	26	V3	V3
	17/02/2025	33	R5	R5
	26/02/2025	42	R7	R6
	06/03/2025	50	R8	R7
	11/02/2025 ^C	27	V3	-
Avaliações de severidade	12/02/2025 ^U	28	-	V3
	19/02/2025 ^C	35	R5	-
	20/02/2025 ^U	36	-	R5
	28/02/2025 ^{C; U}	44	R7	R6
	07/03/2025 ^{C; U}	51	R8	R7
	13/03/2025 ^{C; U}	57	R8	R8
	21/03/2025 ^U	65	-	R8
Avaliação componentes de rendimento	26/03/2025 ^C	70	R9	-
	10/04/2025	85	-	R9
Colheita	26/03/2025 ^C	70	R9	-
	10/04/2025	85	-	R9

Fonte: a autora.

Notas: ^UApenas na cultivar IPR-Uirapuru. ^CApenas na cultivar-IPR Curió. DAE = dias após emergência.

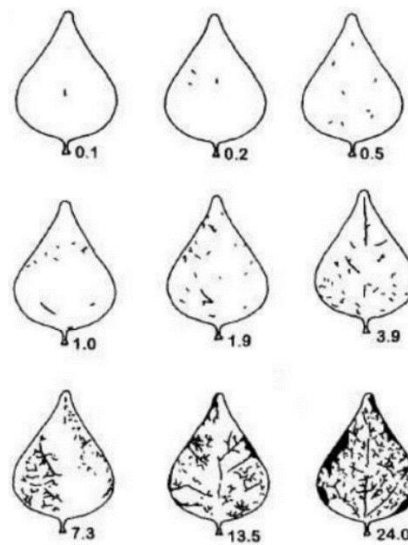
Na safra 2024, com semeadura em 04/01/2024, foram realizadas quatro aplicações dos tratamentos na cultura do feijão, e sete avaliações de severidade de mancha angular para a cultivar IPR-Curió e nove para IPR-Uirapuru (Tabela 2.2). Já na safra 2025, com semeadura em 09/01/2025, foram realizadas quatro aplicações dos tratamentos e cinco avaliações de severidade de mancha angular para a cultivar IPR-Curió e seis para IPR-Uirapuru (Tabela 2.2).

Foram realizadas as avaliações de severidade de mancha angular e de antracnose, uma vez que a doença se manifestou na cultura. Utilizou-se para a antracnose a escala diagramática proposta por Godoy *et al.* (1996) (Figura 2.4). As colheitas manuais das plantas das cultivares e avaliações dos componentes de rendimento ocorreram nas datas de 05/04/2024 (IPR-Curió) e 19/04/2024 (IPR-Uirapuru) na safra 2024. Na safra 2025, a colheita e avaliação dos componentes de rendimento ocorreram em 26/03/2025 para IPR-Curió e 10/04/2025 para IPR-Uirapuru.

As condições climáticas durante a condução dos experimentos foram monitoradas e consideradas, uma vez que variáveis como precipitação, temperatura do ar e umidade relativa exercem influência direta sobre o desenvolvimento da cultura e das doenças avaliadas, podendo

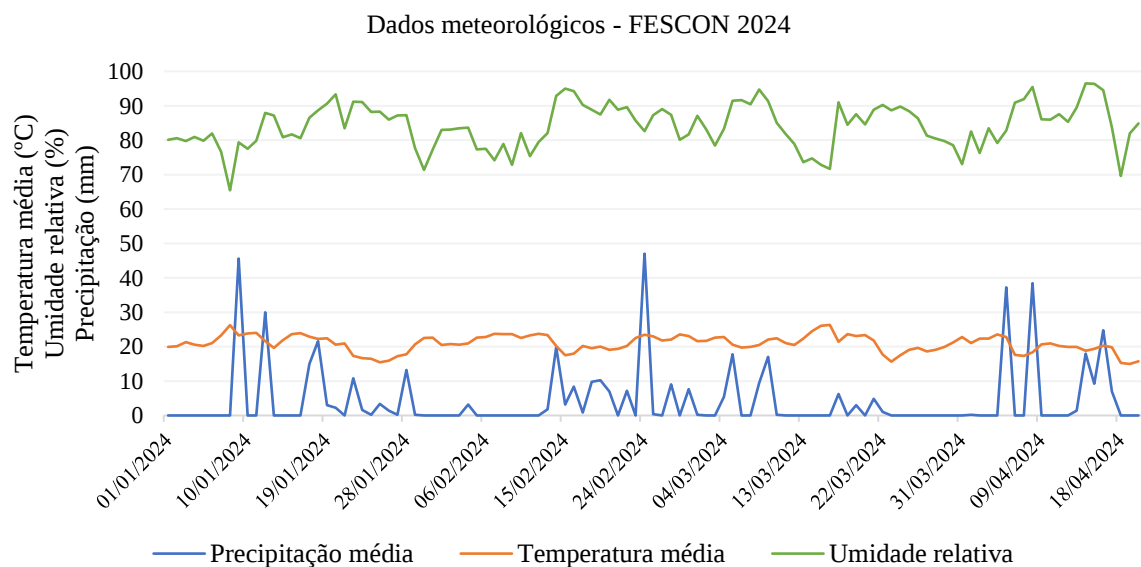
interferir na intensidade dos sintomas e na resposta dos tratamentos avaliados. As informações climáticas foram obtidas a partir da Estação Meteorológica da BASF, localizada junto à Fazenda Escola Capão da Onça (Figuras 2.5 e 2.6), correspondentes às safras de 2024 e 2025 e referentes aos períodos experimentais.

FIGURA 2.4 – Escala diagramática para a avaliação da severidade (porcentagem de área foliar coberta por sintomas) de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*).



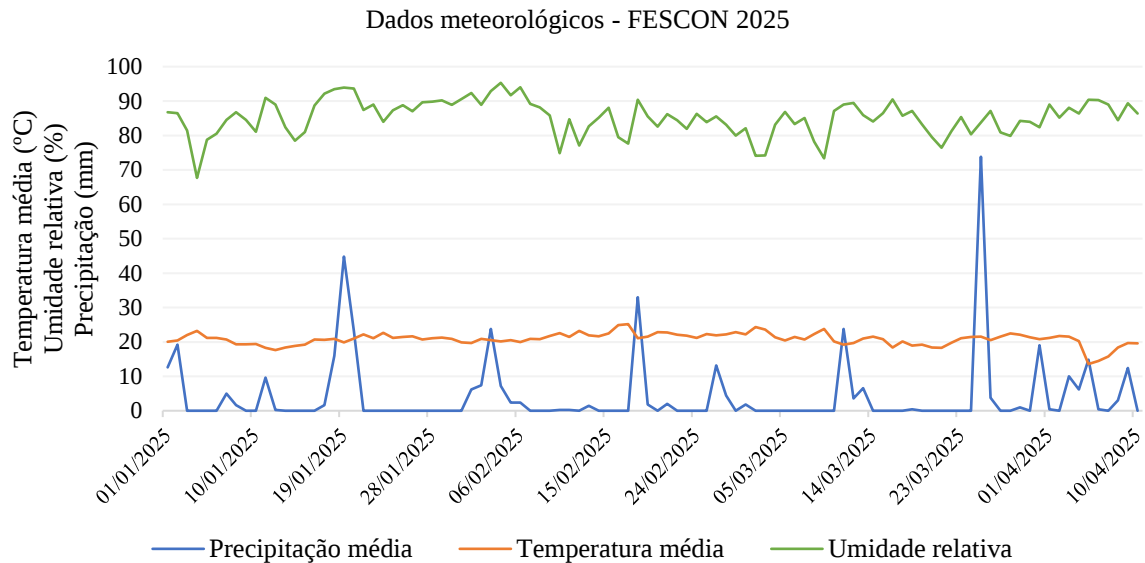
Fonte: Godoy *et al.* (1996).

FIGURA 2.5 – Dados meteorológicos diários de precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar durante o período de condução do experimento de 2024 com a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) no manejo da mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) na Fazenda Escola Capão da Onça - FESCON.



Fonte: Estação Meteorológica BASF – FESCON (2024).

FIGURA 2.6 – Dados meteorológicos diários de precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar durante o período de condução do experimento de 2025 com a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) no manejo da mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) na Fazenda Escola Capão da Onça - FESCON.



Fonte: Estação Meteorológica BASF – FESCON (2025).

2.2.5 Análise Estatística

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), após a verificação dos pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias. Quando necessário, realizaram-se transformações dos dados pelo método de Box–Cox, adotando-se como critério o valor do parâmetro λ estimado. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software SASM-Agri (Canteri *et al.*, 2001).

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Testes *In Vitro*

Observou-se efeito no índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM) e na esporulação do patógeno *Pseudocercospora griseola* submetido aos diferentes tratamentos avaliados *in vitro* (Tabela 2.3).

Com relação aos IVCMs diários na primeira repetição do experimento (Tabela 2.3), os tratamentos AGROMOS® e fungicida Amistar Top® tiveram os menores índices de crescimento, diferenciando-se do controle. Os tratamentos citados apresentaram redução no

crescimento micelial na primeira repetição, sugerindo uma maior eficiência no controle do patógeno.

TABELA 2.3 – Índice de velocidade de crescimento micelial (IVMC) e esporulação (nº de esporos mL⁻¹ 10⁶) de colônias de *Pseudocercospora griseola* desenvolvidas em meio de cultura contendo diferentes tratamentos, em duas repetições do experimento. Ponta Grossa – PR, 2024.

Tratamentos	IVCM ¹		Esporulação (esporos mL ⁻¹ 10 ⁶) ²	
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 1	Rep. 2
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	0,0215bc ³	0,0185ab	0,5440bcd	0,2720b
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	0,0312ab	0,0186ab	0,4480cd	0,3280b
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	0,0328ab	0,0056c	1,9840ab	0,6560b
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	0,0411ab	0,0097bc	2,0160ab	0,4800b
Extrato pirolenhoso	0,0326ab	0,0183ab	1,6640abc	0,6160b
AGROMOS [®]	0,0095c	0,0220a	0,0320d	0,0320b
Produto de fermentação microbiana	0,0313ab	0,0216ab	0,2400d	0,0880b
Bion [®]	0,0578a	0,0248a	1,9360ab	0,4880b
Amistar Top [®]	0,0113c	0,0203ab	1,3680bcd	0,6960b
Controle	0,0426ab	0,0215ab	2,9360a	1,5840a
Coefficiente de variação (%)	27,11	25,66	20,95	17,10

Fonte: a autora.

Notas: ¹ Dados originais, para análise foram transformados em $\arcsin(\sqrt{x/100})$;

² Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$;

³ Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Na segunda repetição do experimento (Tabela 2.3), por sua vez, o tratamento composto por extrato de *T. lentiforme* reduziu o crescimento das colônias do patógeno quando comparados ao controle, demonstrando diferença estatística significativa. No entanto, observou-se que extrato de *T. lentiforme*, quando comparado ao controle, apresentou comportamento diferente entre as duas repetições realizadas.

Estudos apontam que a eficácia de metabólitos de *Trichoderma* pode variar conforme sua linhagem, as condições de cultivo e a concentração dos compostos antifúngicos produzidos pelas colônias (Guo *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2016). Uma vez que os tratamentos foram baseados em metabólitos termoestáveis produzidos a partir do desenvolvimento de fungos sapróbios em meio líquido, pode-se justificar os diferentes resultados entre as repetições por uma possível diferença na concentração de compostos entre os tratamentos produzidos para cada uma das repetições.

Avaliando-se a esporulação das colônias de *P. griseola* (Tabela 2.3) na primeira repetição do experimento, os tratamentos AGROMOS[®], produto de fermentação microbiana e extratos de *T. endophyticum* e *T. asperellum*, diferiram estatisticamente do controle. Estes demonstraram menores médias, indicando menor esporulação do fitopatógeno. Na segunda

repetição do experimento não houve a diferença estatística significativa entre os tratamentos, mas todos diferiram do controle. Isso demonstra que o contato da colônia do patógeno com os tratamentos foi preponderante para a redução na esporulação.

A redução da esporulação possui grande relevância epidemiológica, pois influencia diretamente a quantidade de inóculo disponível e a velocidade de disseminação da doença no campo (Madden, 2025; Van der Heyden *et al.*, 2021). Assim, mesmo que alguns tratamentos não tenham reduzido intensamente o crescimento micelial, sua capacidade de limitar a esporulação é fator crucial para o manejo mais eficiente da mancha angular.

Entre os tratamentos, para as duas repetições, o Bion[®] (acibenzolar S-metil) apresentou os maiores valores de crescimento micelial, o que vem de encontro com o fato desse produto ser um indutor de resistência que atua no hospedeiro e não como um composto fungicida (Celoto; Celoto, 2022). No entanto, várias pesquisas trazem o efeito deste indutor também como um composto capaz de reduzir a esporulação de fungos fitopatogênicos, o que pôde ser observado na segunda repetição.

Em pesquisa avaliando o efeito do acibenzolar S-metil (ASM) *in vitro* no controle de *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*, os resultados mostraram que o ASM apresentou efeito direto na produção e germinação de esporos e no crescimento micelial (Ramírez-Bustos *et al.*, 2025). Além deste, a redução da esporulação proporcionada pelo Bion[®] e pelo AGROMOS[®] corrobora o observado por Carvalho Neto *et al.* (2023), que verificaram efeito antifúngico desses elicitores sobre *Colletotrichum* spp. *in vitro*. Os autores observaram a diminuição tanto do crescimento micelial quanto da produção de esporos, indicando que tais compostos podem interferir diretamente no desenvolvimento e na capacidade reprodutiva do patógeno.

Pode-se observar ainda a redução da esporulação de *P. griseola* em contato com o tratamento com o produto de fermentação microbiana, baseado na levedura *Saccharomyces cerevisiae*, nas duas repetições. Esse resultado é consistente com estudos que demonstraram que metabólitos e compostos voláteis liberados por *S. cerevisiae* podem inibir o crescimento micelial e reduzir a conidiogênese em fungos fitopatogênicos (Meng *et al.*, 2025; Yang *et al.*, 2023). Além disso, pesquisas realizadas em leguminosas demonstraram que leveduras podem diminuir a severidade e a produção de esporos, contribuindo para menor disponibilidade de inóculo e menor disseminação do patógeno (Calixto, 2020).

2.3.2 Testes em Casa de Vegetação

Utilizaram-se as cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, em duas repetições do experimento: a primeira com início em 02 de outubro de 2023 e a segunda em 14 de novembro

de 2023. A diferença do número de avaliações e a antecipação do ciclo do feijão na segunda repetição ocorreu devido as altas temperaturas na região durante a realização dos experimentos. As condições foram ainda acentuadas pela falha mecânica de ventiladores e por consequência, redução da ventilação na casa de vegetação utilizada.

Com base nos dados de severidade de mancha angular obtidos durante as avaliações, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) (Tabela 2.4). Para ambas as repetições, na cultivar IPR-Curió, não houve diferença estatística entre os tratamentos.

TABELA 2.4 – Área abaixo da curva de progresso da doença para mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) em feijão (*Phaseolus vulgaris*), nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em casa de vegetação. Ponta Grossa – PR, 2023.

Tratamentos	IPR-Curió		IPR-Uirapuru	
	Rep. 1	Rep. 2	Rep.1	Rep. 2
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	22,88ns	19,23ns	19,64a	8,38ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	22,90	21,76	13,09ab	6,75
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	17,18	24,42	12,68ab	7,58
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	38,82	22,86	9,86ab	10,08
Extrato pirolenhoso	28,26	18,72	17,31ab	5,16
AGROMOS®	16,10	23,47	11,41ab	6,49
Produto de fermentação microbiana	21,20	13,23	19,22ab	7,10
Bion®	21,41	19,15	6,13b	6,22
Amistar Top®	24,49	14,91	11,70ab	3,82
Controle	28,51	17,70	17,54ab	8,36
Coefficiente de variação (%)	13,98	23,53	22,17	31,33

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo.

Para IPR-Uirapuru, na primeira repetição, os tratamentos não diferiram estatisticamente do tratamento controle (Tabela 2.4). Na segunda repetição os produtos e extratos testados não tiveram efeito na AACPD. De modo geral, a cultivar IPR-Uirapuru exibiu menores valores de AACPD em comparação à IPR-Curió, sugerindo maior tolerância à doença.

A comparação entre as cultivares evidenciou um contraste no progresso da mancha angular (Figuras 2.7 e 2.8). A máxima severidade de doença para IPR-Uirapuru (Figura 2.8) foi menor em comparação a IPR-Curió (Figura 1.7), indicando possivelmente uma maior tolerância ao patógeno. Resultados semelhantes foram observados em estudos que destacam a variabilidade genotípica na resistência ao patógeno *P. griseola* na cultura do feijão. Os genótipos com menor progresso de doença apresentam mecanismos fisiológicos mais eficientes de contenção da colonização do patógeno nos tecidos vegetais. Essa diferença pode estar relacionada à presença de alguns genes de resistência parcial, associados à redução na taxa de

colonização do hospedeiro, o que contribui para retardar o avanço da doença no dossel foliar da planta (Almeida *et al.*, 2021; Nay *et al.*, 2019).

Embora os tratamentos com os indutores de resistência não tenham diferido estatisticamente do controle para a cultivar IPR-Uirapuru (Tabela 2.4), os valores de AACPD variaram de 3,02 para o fungicida e 10,08 quando foi utilizado *P. sanguineus*. Embora não significativa, houve redução na severidade nas duas repetições, como observado para os indutores Bion[®], AGROMOS[®] e extratos de *T. endophyticum* e *T. lentiforme*, entre os 40 e 50 DAE (Figuras 2.8A e 2.8B).

Para a IPR-Curió, primeira repetição do experimento (Figura 2.7A), o pico de severidade ocorreu aos 54 DAE. A severidade da mancha angular variou de 18,01% (AGROMOS[®]) a 67,7% (*P. sanguineus*). No entanto, na segunda repetição do experimento (Figura 2.7B), o pico de severidade ocorreu no período de 44 a 64 DAE. A máxima severidade ficou entre 25,8% para *T. lentiforme* e 3,63% para o produto de fermentação microbiana.

A máxima severidade na primeira repetição com a cultivar IPR- Uirapuru ocorreu mais cedo que a cultivar IPR-Curió, aos 43 DAE (Figura 2.8A). A menor severidade (5,9%) ocorreu com aplicação do fungicida e a maior (37,96%) onde foi aplicado AGROMOS[®]. A partir de 53 DAE houve decréscimo da doença para todos os tratamentos de modo geral. Na segunda repetição (Figura 2.8B), o progresso da mancha angular foi similar entre os tratamentos. A máxima severidade ocorreu com o controle (9,1%), entre 39 e 40 DAE.

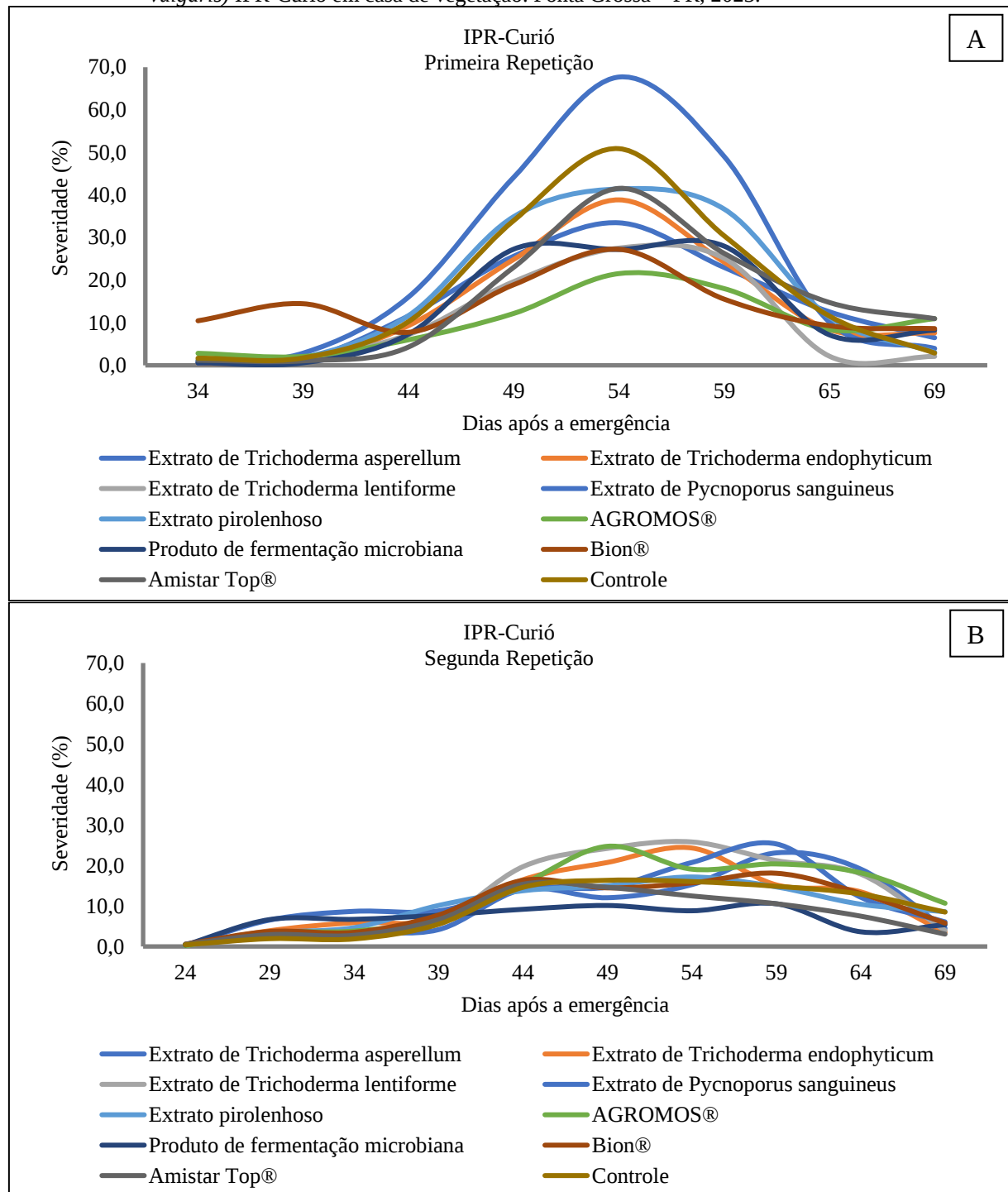
Os indutores são elicitores que ativam genes em rotas metabólicas de resistência sistêmica, promovendo o acúmulo de compostos fenólicos, fitoalexinas e enzimas relacionadas à defesa nas plantas (Derbalah *et al.*, 2022; Meena *et al.*, 2022; Prasannath, 2017). Estudos demonstraram que sua eficiência pode variar conforme a cultivar, o estágio de desenvolvimento e as condições ambientais, com impacto mais evidente em genótipos com uma maior capacidade de resposta fisiológica ao estímulo de defesa (Zaffar *et al.*, 2024).

Apesar da presença de inóculo no ambiente, a severidade da mancha angular na segunda repetição foi inferior a primeira para ambas as cultivares (Figuras 2.7A e 2.8B). Isso pode ter ocorrido devido as altas temperaturas que podem ter afetado o metabolismo e o crescimento do patógeno, visto que a temperatura ideal para crescimento de *P. griseola* é entre 20 e 25°C (Wendland *et al.*, 2016). Além disso, o estresse térmico pode ter acelerado o processo de senescência foliar (Liang *et al.* 2021), interferindo na disponibilidade de tecido sadio para o desenvolvimento da doença e consequente na avaliação da severidade ao final do ciclo.

De forma geral, os resultados sugerem que o desempenho dos tratamentos biológicos e indutores de resistência é influenciado tanto pelas características genéticas das cultivares como

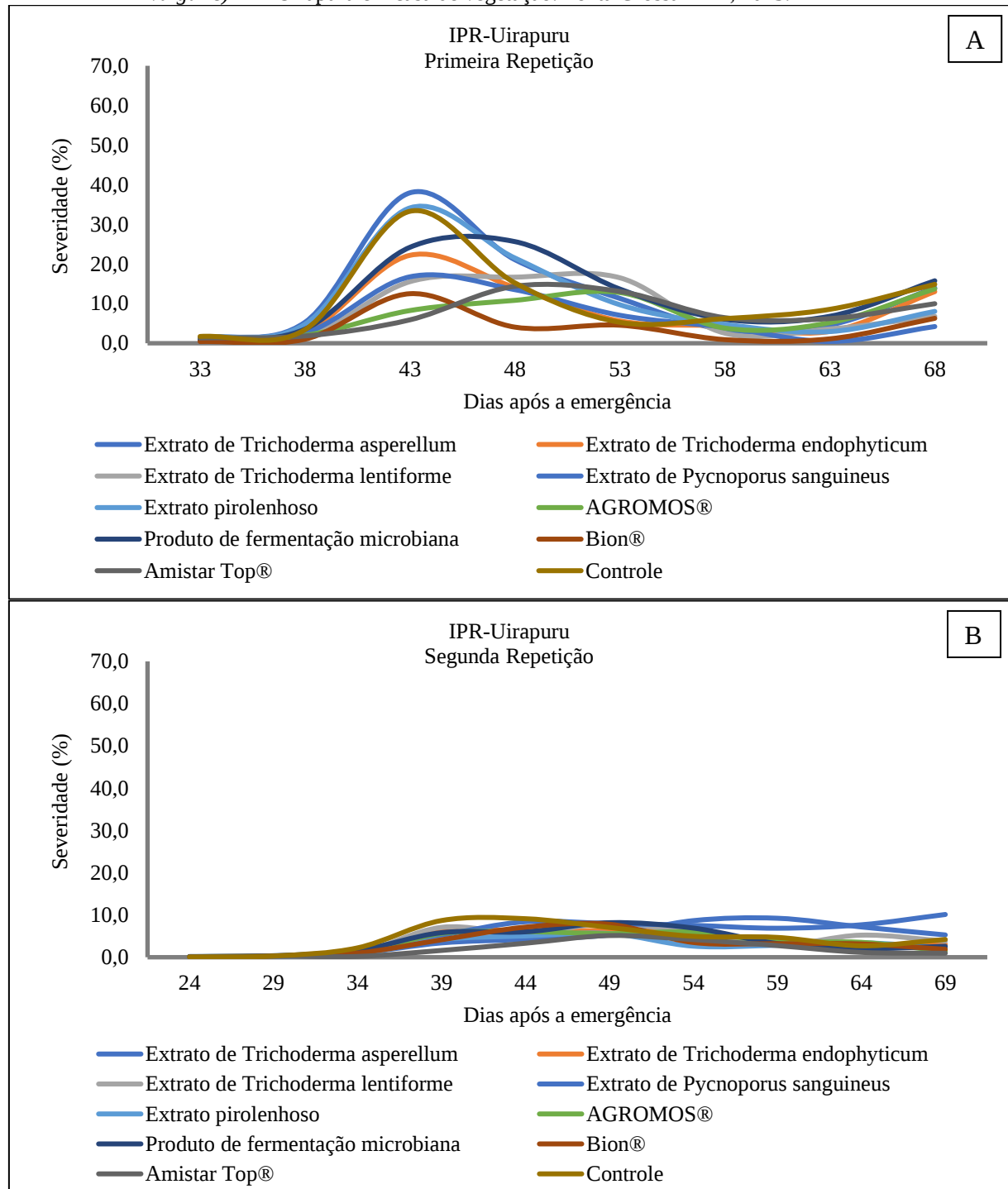
pelas condições ambientais. A cultivar IPR-Uirapuru demonstrou menor progresso da doença, indicando possivelmente a presença de genes de tolerância. A fim de aprofundar a interpretação dos tratamentos, recomenda-se incluir análises bioquímicas de marcadores de defesa para confirmar a ativação de vias fisiológicas associadas à resistência induzida pelos tratamentos.

FIGURA 2.7 – Severidade de mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) na cultivar de feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR-Curió em casa de vegetação. Ponta Grossa – PR, 2023.



Fonte: a autora.

FIGURA 2.8 – Severidade de mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) na cultivar de feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR-Uirapuru em casa de vegetação. Ponta Grossa – PR, 2023.



Fonte: a autora.

2.3.3 Testes em Campo

A mancha angular tem seu desenvolvimento favorecido em temperaturas médias de 24°C, e condições de alternância entre períodos secos e úmidos (Wendland *et al.*, 2016). No entanto, apesar da doença possuir maior incidência nos cultivos a partir do mês de janeiro

devido aos maiores níveis de inóculo e condições climáticas propícias, as safras de 2024 e 2025 foram atípicas, resultando em baixa severidade no desenvolvimento da mancha angular na cultura.

2.3.3.1 Safra 2024

Na safra de 2024 foi observada diferença estatística significativa entre os tratamentos na AACPD da mancha angular na cultivar IPR-Curió e não significativa para IPR-Uirapuru (Tabela 2.5). Para IPR-Curió, o fungicida e o produto de fermentação microbiana diferiram da testemunha com os menores valores de AACPD. Esse resultado era esperado para o fungicida, uma vez que o mesmo possui registro para o controle da mancha angular na cultura do feijão (ADAPAR, 2024).

TABELA 2.5 – Área abaixo da curva de progresso da doença para manejo da mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) em feijão (*Phaseolus vulgaris*), nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em condições de campo, na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.

Tratamentos	IPR-Curió	IPR-Uirapuru
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	0,70ab ¹	0,46ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	0,81ab	0,30
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	1,31ab	0,49
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	0,97ab	0,48
Extrato pirolenhoso	0,93ab	0,51
AGROMOS [®]	1,15ab	0,47
Produto de fermentação microbiana	0,45b	0,39
Bion [®]	0,78ab	0,22
Amistar Top [®]	0,13b	0,36
Controle	2,07a	0,51
Coeficiente de variação (%)	21,21	12,40

Fonte: a autora.

Notas: ¹ Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo.

Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Os extratos à base de *T. asperellum*, *T. endophyticum* e *T. lentiforme*, bem como os extratos de *P. sanguineus*, pirolenhoso e o AGROMOS[®], apresentaram valores intermediários de AACPD, não diferindo estatisticamente do fungicida, do produto de fermentação microbiana ou do controle. Na cultivar IPR-Uirapuru, durante a safra 2024, os resultados não foram significativos (Tabela 2.5).

As curvas de severidade da mancha angular na cultivar IPR-Curió mostraram um comportamento epidêmico tardio, com baixos níveis de severidade até aproximadamente 51 a 58 DAE. Seguiu-se uma rápida intensificação da doença a partir de 64 DAE, no estágio fenológico R8 (Figura 2.9A).

O tratamento controle apresentou a maior taxa de incremento da severidade no final do ciclo, atingindo 8,93% (Figura 2.9A). Esse padrão é típico de epidemias policíclicas, nas quais o progresso da doença se acelera quando as condições ambientais se tornam mais favoráveis e o inóculo secundário se acumula (Del Ponte; Mizubuti, 2024). Devido ao ciclo mais curto da cultivar IPR-Curió (70 dias), o processo de senescência após os 70 DAE não permitiu a continuidade das avaliações de severidade.

Entre os tratamentos, Amistar Top[®] destacou-se por conter o progresso da severidade ao longo de todo o período avaliado (Figura 2.9A), mantendo valores mais baixos que os demais até a última avaliação. Esse comportamento explica o menor valor de AACPD observado para esse tratamento e reforça sua eficiência como padrão químico de controle.

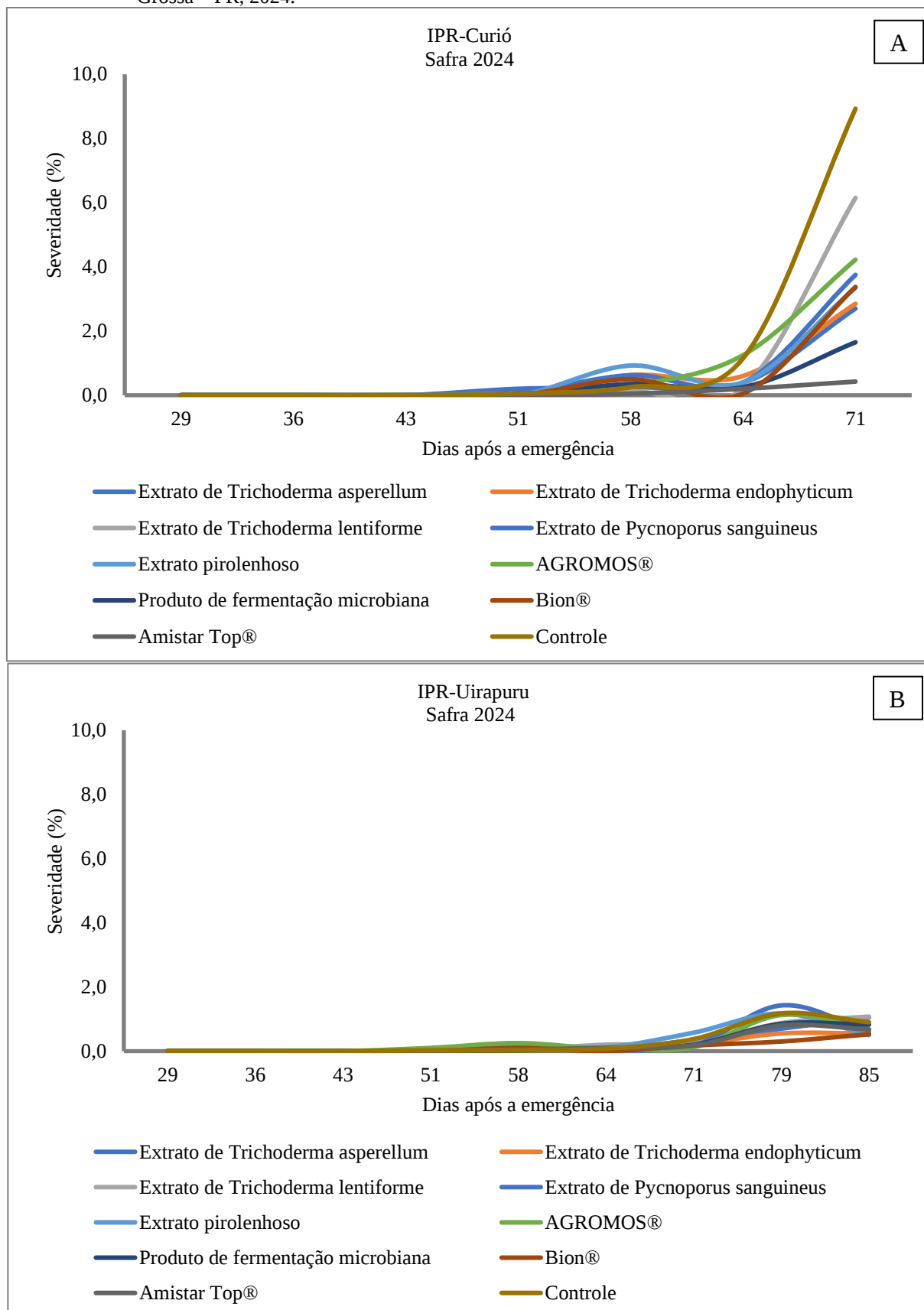
O produto de fermentação microbiana também apresentou um progresso tardio da doença (Figura 2.9A), com incremento mais lento da severidade no período final, resultando em valores finais inferiores aos do controle e da maioria dos extratos biológicos. Os tratamentos à base de *Trichoderma* spp., *P. sanguineus*, extrato pirolenhoso, AGROMOS[®] e Bion[®] tiveram severidade intermediária, com curvas que permaneceram próximas entre si até os 64 DAE, mas com aumento da severidade nas avaliações finais. Esse resultado sugere que esses produtos não impediram o estabelecimento da doença, mas podem ter exercido um efeito parcial, retardando o progresso da epidemia quando comparados ao controle.

Na cultivar IPR-Uirapuru (Figura 2.9B), as severidades foram em geral inferiores às observadas em IPR-Curió durante todo o ciclo. O aumento da intensidade da doença foi mais tardio, com um aumento perceptível após 71 DAE, porém sem grandes severidades até o fim do ciclo. Em função dessa baixa pressão da doença, as curvas dos diferentes tratamentos permaneceram próximas entre si, o que explica a ausência de diferenças significativas na AACPD nessa cultivar.

Pode haver resultados expressivos de indutores de resistência quanto a redução da severidade de doenças em diferentes patossistemas. No entanto, a eficiência desses produtos é frequentemente dependente de fatores como condições ambientais, pressão de inóculo, estágio fenológico e genótipo da cultivar, o que pode explicar a menor resposta observada na presente pesquisa (Boubakri, 2025).

Para antracnose, doença também presente em campo na safra 2024, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos e o controle na cultivar IPR-Curió para a variável AACPD (Tabela 2.6). Para a cultivar IPR-Uirapuru (Tabela 2.6), somente o fungicida Amistar Top[®] diferiu estatisticamente da testemunha, com a menor AACPD. Esse resultado era esperado, uma vez que o produto possui registro para a cultura e doença.

FIGURA 2.9 – Severidade (%) de mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) nas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR-Curió e IPR-Uirapuru em condições de campo, na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.



Fonte: a autora.

TABELA 2.6 – Área abaixo da curva de progresso da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) em feijão (*Phaseolus vulgaris*), nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em condições de campo, na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.

Tratamentos	IPR Curió	IPR Uirapuru
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	1,86ns	0,92ab ¹
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	0,63	0,92ab
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	1,47	1,39ab
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	0,99	1,09ab
Extrato pirolenhoso	0,98	0,80ab
AGROMOS [®]	1,24	1,40ab
Produto de fermentação microbiana	1,21	0,72ab
Bion [®]	1,28	1,22ab
Amistar Top [®]	1,02	0,61b
Controle	1,64	2,26a
Coefficiente de variação (%)	14,46	18,84%

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo,

Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Com relação às curvas de progresso da doença, para a antracnose, a máxima severidade foi de 4,28% (51 DAE) e 2,95% (79 DAE) para a IPR-Curió e IPR-Uirapuru, respectivamente (Figura 2.10A e B). Para IPR-Curió (Figura 2.10A), as curvas demonstram um padrão epidêmico diferente ao observado para a mancha angular, caracterizado por um pico de severidade concentrado entre 43 e 51 DAE, seguido por redução progressiva da severidade nas avaliações subsequentes.

Esse comportamento sugere que a antracnose se estabeleceu precocemente no ciclo da cultivar IPR-Curió, possivelmente favorecida pelas condições ambientais adequadas à infecção. A antracnose é favorecida por temperaturas moderadas (15 a 22°C) e elevada umidade com presença de água livre sobre as plantas (Wendland *et al.*, 2016). A redução da severidade após o pico pode estar associada à senescência de tecidos infectados, ao crescimento vegetativo da planta diluindo a proporção de tecido doente, ou a condições ambientais desfavoráveis nas fases posteriores avaliações.

Na cultivar IPR-Uirapuru (Figura 2.10B), as curvas de severidade também indicam infecção inicial a partir dos 43 DAE, com maiores porcentagens de severidade observados entre 51 e 58 DAE e em um segundo momento entre 71 e 79 DAE (Figura 2.10B). Esse comportamento sugere a ocorrência de mais de um ciclo de infecção, possivelmente relacionado a novos períodos favoráveis ao patógeno ou à produção de inóculo secundário.

Doenças policíclicas são aquelas em que o patógeno é capaz de completar múltiplos ciclos de infecção dentro de uma mesma safra, produzindo inóculo secundário que dá origem a novas infecções sucessivas. Nesse tipo de patossistema, a intensidade da epidemia não depende apenas do inóculo inicial, mas principalmente da taxa de infecções secundárias ao longo do

tempo, o que faz com que a severidade da doença cresça quando as condições ambientais se tornam favoráveis (Del Ponte; Mizubuti, 2024).

Mesmo com a ausência de diferenças estatísticas na AACPD, observou-se que os níveis de severidade permaneceram baixos e as curvas dos tratamentos se mantiveram próximas ao longo do ciclo da cultura. O tratamento controle apresentou os maiores valores de severidade, porém sem distanciar o suficiente dos demais tratamentos.

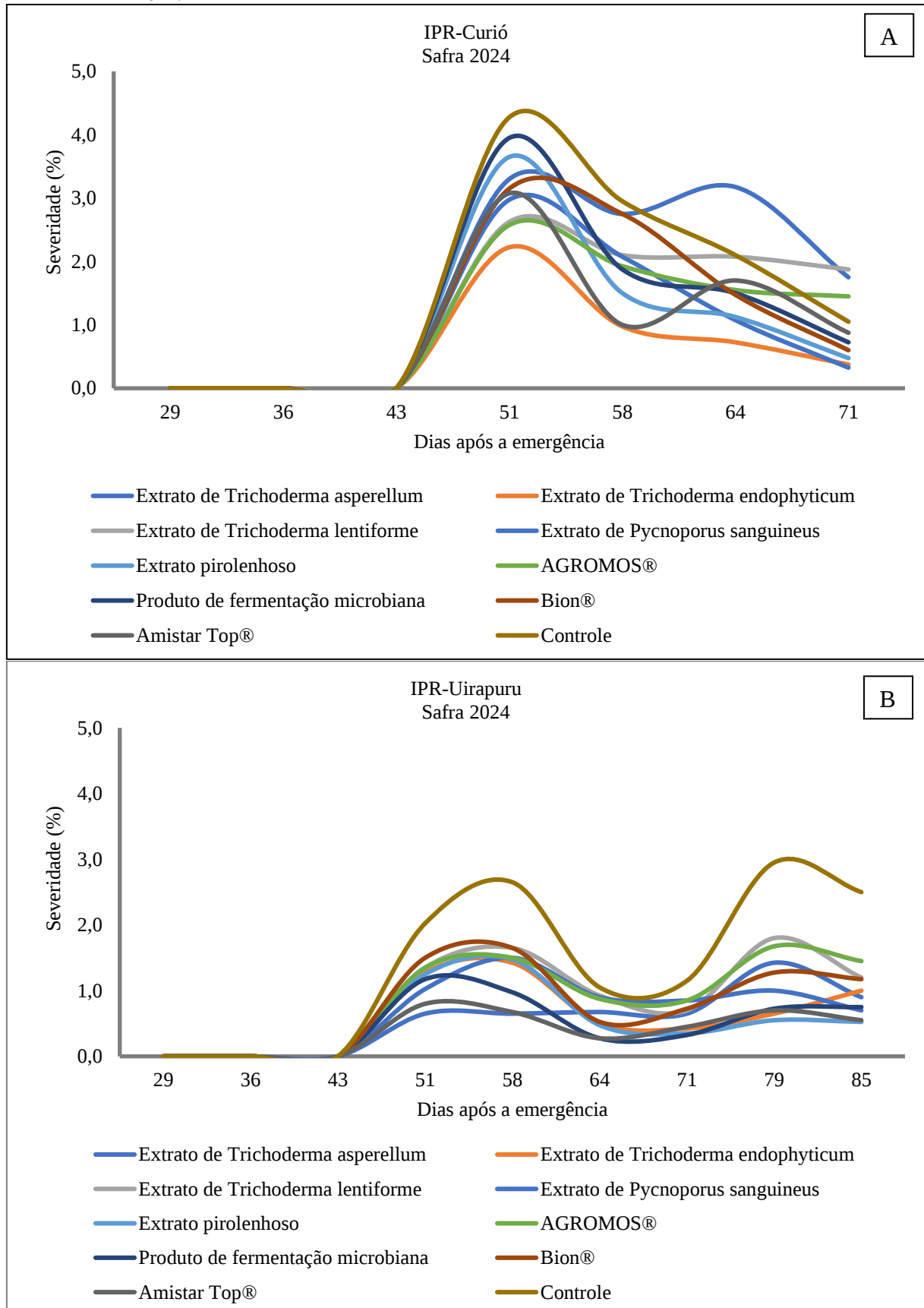
Dessa forma, nas condições de baixa severidade, os produtos testados não foram capazes de expressar o potencial para a redução da doença. Christmann (2019), avaliando em campo o controle da antracnose com *Trichoderma* spp., ácido salicílico, fosfito de cobre e ASM, observou redução da AACPD em comparação à testemunha. Diferenças entre os resultados da autora e da presente pesquisa podem estar associadas a fatores como condições ambientais, pressão de inóculo e momento de aplicação diferentes, que influenciam diretamente a resposta a indutores de resistência e agentes biológicos.

Em avaliação comparando cultivares de feijão, Cerutti *et al.* (2017), observaram que a cultivar IPR-Curió apresentou um dos maiores índices de severidade de mancha angular. Devido à grande severidade da doença, a cultivar associou-se também a menores valores de produtividade, reforçando a relação negativa entre intensidade da doença e rendimento de grãos.

Na presente pesquisa, no entanto, devido às baixas intensidades de doença, os tratamentos não tiveram diferença estatística significativa para as variáveis altura de plantas, plantas por metro, vagens por planta, grãos por vagem e peso de mil grãos em ambas as cultivares (Tabela 2.7). Os tratamentos também não influenciaram a produtividade da cultura nas cultivares avaliadas (Tabela 2.8).

A colheita manual foi realizada aos 86 DAE (05/04/2024) para a cultivar IPR-Curió e aos 100 DAE (19/04/2024) para a cultivar IPR-Uirapuru. Avaliaram-se a altura de plantas e os componentes de rendimento (Tabela 2.7), e a produtividade (Tabela 2.8). O aumento da mancha angular na safra de 2024 ocorreu após os 64 DAE (IPR-Curió – Figura 2.6A) e 71 DAE (IPR-Uirapuru – Figura 2.6B), correspondentes ao estágio fenológico R8 (enchimento de grãos) para ambas as cultivares. Para antracnose, o aumento na severidade foi mais pronunciado a partir de 51 DAE (IPR-Curió – estágio R8; IPR-Uirapuru – estágio R7) para as duas cultivares (Figura 2.7). No entanto, ainda com baixos índices de severidade das doenças e considerando-se o início da senescência foliar, não foram observados impactos à produtividade e ao enchimento de grãos (Tabela 2.8).

FIGURA 2.10 – Severidade de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) nas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR-Curió e IPR-Uirapuru em condições de campo, na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.



Fonte: a autora.

TABELA 2.7 – Altura de plantas (cm) e componentes de rendimento: plantas por metro, vagens por planta, grãos por vagem e peso de mil grãos (g), em função dos tratamentos aplicados para manejo da mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) nas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR-Curió e IPR-Uirapuru, na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.

IPR-Curió					
Tratamentos	Altura de plantas (cm)	Plantas por metro	Vagens por planta	Grãos por vagem	Peso de mil grãos (g)
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	28,63ns	14,20ns	11,38ns	2,92ns	222,98ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	24,20	13,15	8,50	2,75	212,21
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	25,90	11,90	8,98	2,67	212,68
Extrato de <i>Pycnopus sanguineus</i>	25,28	12,55	9,45	2,91	213,81
Extrato pirolenhoso	28,58	12,80	11,10	2,91	220,50
AGROMOS®	28,35	12,75	11,85	3,03	219,89
Produto de fermentação microbiana	26,03	12,25	9,63	2,73	212,87
Bion®	27,03	12,95	10,65	2,87	206,19
Amistar Top®	28,80	11,45	12,35	2,64	216,61
Controle	28,18	13,75	11,58	3,10	224,85
Coeficiente de variação (%)	9,16	10,31	21,95	10,71	4,55
IPR-Uirapuru					
Tratamentos	Altura de plantas (cm)	Plantas por metro	Vagens por planta	Grãos por vagem	Peso de mil grãos (g)
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	57,50ns	10,22ns	13,00ns	4,93ns	182,52ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	64,33	10,96	11,98	4,50	177,28
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	61,03	9,48	13,05	4,76	181,87
Extrato de <i>Pycnopus sanguineus</i>	59,68	10,06	11,25	4,77	178,53
Extrato pirolenhoso	63,65	10,74	13,63	4,74	181,58
AGROMOS®	63,33	9,92	13,35	4,75	175,17
Produto de fermentação microbiana	65,13	9,90	12,53	4,70	186,23
Bion®	57,25	10,58	12,25	4,88	179,96
Amistar Top®	58,23	9,66	12,63	4,62	185,76
Controle	60,48	9,70	12,68	4,83	181,61
Coeficiente de variação (%)	11,28	6,90	15,54	7,00	5,43

Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de significância.

TABELA 2.8 – Produtividade (Kg ha⁻¹) em função dos tratamentos aplicados nas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR Curió e IPR-Uirapuru, para manejo da mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) na safra 2024. Ponta Grossa – PR, 2024.

Tratamentos	Produtividade	
	IPR Curió	IPR Uirapuru
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	2336,50ns	2631,45ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	1467,40	2294,88
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	1327,33	2340,23
Extrato de <i>Pycnopus sanguineus</i>	1730,78	2173,60
Extrato pirolenhoso	1977,14	2800,79
AGROMOS®	2183,78	2475,61
Produto de fermentação microbiana	1580,57	2396,62
Bion®	1812,49	2519,78
Amistar Top®	2102,41	2382,84
Controle	2461,69	2359,24
Coeficiente de variação (%)	32,05	22,22

Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de significância,

2.3.3.2 Safra 2025

Na safra de 2025, não foi observada diferença estatística entre os tratamentos para a variável AACPD da mancha angular na cultivar IPR-Curió. Em IPR-Uirapuru, por sua vez, houve diferença estatística entre os tratamentos, com o fungicida Amistar Top® apresentando o menor valor de AACPD em relação à testemunha (Tabela 2.9). Novamente, esse resultado era esperado, uma vez que o produto possui registro para o controle da mancha angular na cultura do feijão e tem ação tóxica sobre o patógeno.

Ainda para a cultivar IPR-Uirapuru, os extratos à base de *T. asperellum*, *T. endophyticum* e *T. lentiforme*, assim como os extratos de *P. sanguineus*, o extrato pirolenhoso, o AGROMOS®, o produto de fermentação microbiana e o Bion®, não diferiram estatisticamente entre si ou do fungicida ou do tratamento controle. De forma geral, IPR-Curió apresentou valores de AACPD superiores aos observados para a IPR-Uirapuru, ainda que sem diferença estatística entre os tratamentos para essa cultivar.

Com relação às curvas de progresso da doença para a mancha angular na safra de 2025, observam-se baixos níveis de severidade ao longo de todo o ciclo para ambas as cultivares avaliadas (Figura 2.11A e B). Na cultivar IPR-Curió, a severidade iniciou, ainda que em baixas taxas, a partir dos 27 DAE, com valores inferiores a 0,2%, apresentando incremento gradual até cerca de 35–36 DAE, quando atingiu valores próximos a 0,5%.

TABELA 2.9 – Área abaixo da curva de progresso da doença para manejo da mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) em feijão (*Phaseolus vulgaris*), nas cultivares IPR Curió e IPR Uirapuru em condições de campo, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.

Tratamentos	IPR Curió	IPR Uirapuru
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	0,34ns	0,21ab ¹
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	0,40	0,23ab
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	0,50	0,32ab
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	0,45	0,20ab
Extrato pirolenhoso	0,33	0,26ab
AGROMOS®	0,59	0,30ab
Produto de fermentação microbiana	0,42	0,37ab
Bion®	0,39	0,36ab
Amistar Top®	0,34	0,13b
Controle	0,66	0,51a
Coefficiente de variação (%)	10,10	8,46

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo,

Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Entre 44 e 51 DAE, verificou-se o principal aumento da severidade na cultivar IPR-Curió, com valores máximos variando aproximadamente entre 0,8% e 1,5% (Figura 2.11A). O maior valor de severidade foi observado no tratamento controle, atingindo aproximadamente 1,5% aos 51 DAE. Após esse pico, observou-se redução na severidade nas avaliações finais, com valores próximos ou inferiores a 0,7% aos 57 DAE, possivelmente associada ao avanço do ciclo da cultura e início da senescência foliar.

Na cultivar IPR-Uirapuru (Figura 2.11B), a severidade da mancha angular manteve-se mais baixa que da IPR-Curió durante a maior parte do ciclo. Os primeiros sintomas foram observados por volta de 28–36 DAE, com severidade inferior a 0,2%. O incremento da doença ocorreu de forma lenta e gradual, até aproximadamente 51 DAE, quando a maioria dos tratamentos apresentou valores entre 0,3% e 0,5%.

O maior valor de severidade na cultivar IPR-Uirapuru foi registrado no tratamento controle, atingindo aproximadamente 1,5% aos 65 DAE (Figura 2.11B). Os demais tratamentos apresentaram valores máximos inferiores, em geral variando entre 0,4% e 0,9% no mesmo período. Esse aumento mais tardio da severidade indica que o progresso da doença ocorreu principalmente nas fases finais do ciclo da cultura.

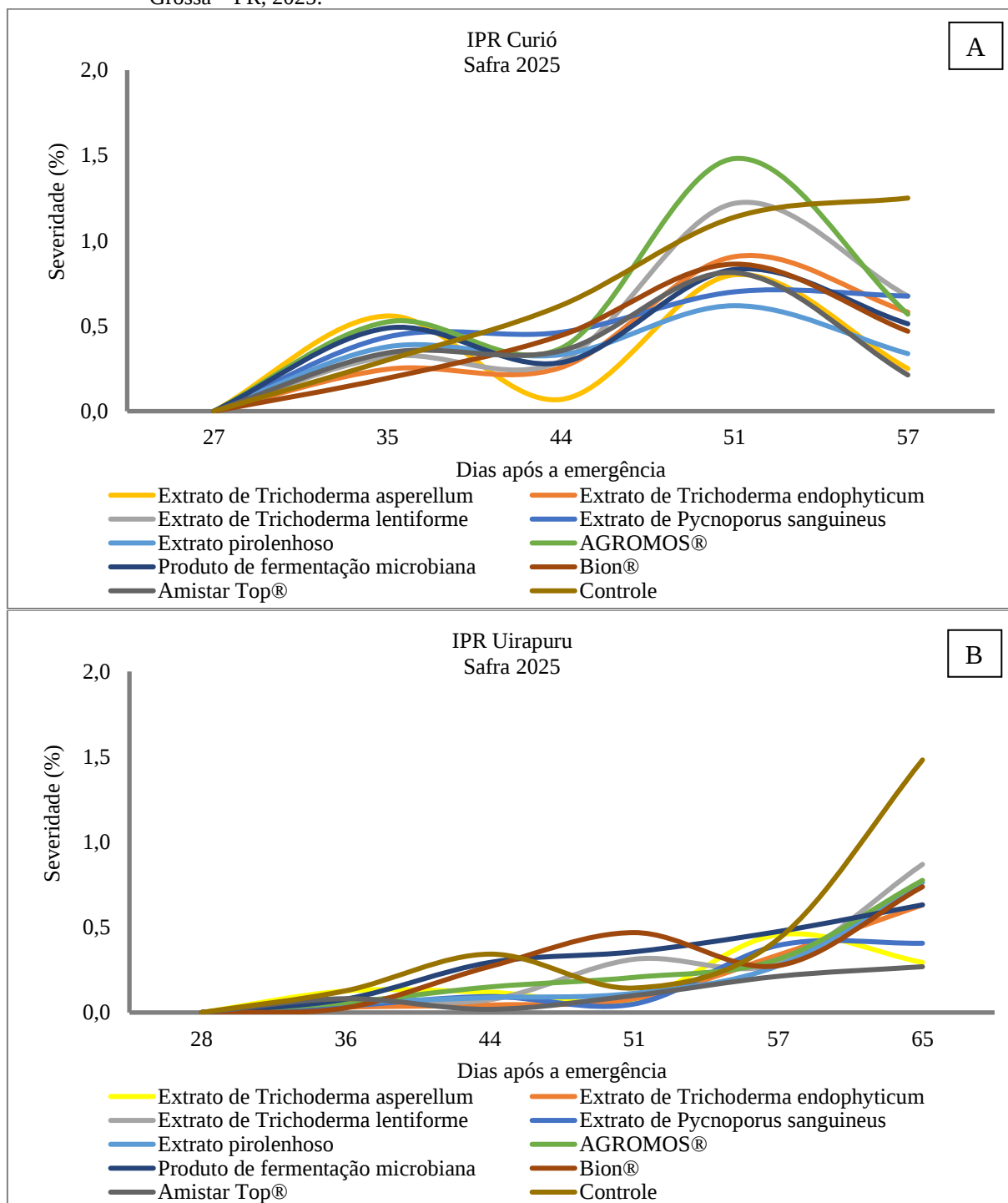
A mancha angular tem seu desenvolvimento favorecido em temperaturas médias próximas de 24°C e em condições de alternância entre períodos secos e úmidos (Wendland *et al.*, 2016). Observando os dados meteorológicos do período experimental (Figura 2.6), nota-se que na fase final do ciclo houve um aumento na ocorrência e no volume de precipitações, mantendo-se também valores elevados de umidade relativa. Esses dados indicam que as condições mais favoráveis ao patógeno se estabeleceram apenas no final do desenvolvimento da cultura, o que é coerente com o aumento mais tardio da severidade observado nas avaliações.

Com relação à área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para a antracnose na safra de 2025, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos para nenhuma das cultivares avaliadas (Tabela 2.10). Na cultivar IPR-Curió, os valores de AACPD variaram entre 0,15 e 0,61, enquanto na cultivar IPR-Uirapuru os valores oscilaram entre 0,12 e 0,32.

Na cultivar IPR-Curió, o menor valor de AACPD foi observado no tratamento com Bion[®] (Tabela 2.10), enquanto o maior valor ocorreu no tratamento com AGROMOS[®], seguido pelo extrato de *T. asperellum* e pelo produto de fermentação microbiana. Apesar dessa variação numérica, a ausência de diferenças estatísticas indica que os tratamentos não influenciaram de forma significativa a variável nessa cultivar. Para a cultivar IPR-Uirapuru, os menores valores de AACPD foram registrados para o tratamento com Amistar Top[®] e Bion[®], enquanto o maior

valor foi observado na testemunha (0,29), novamente sem separação estatística entre os tratamentos.

FIGURA 2.11 – Curvas de severidade de mancha angular (*Pseudocercospora griseola*) nas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR Curió e IPR Uirapuru em condições de campo, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.



Fonte: a autora.

TABELA 2.10 – Área abaixo da curva de progresso da antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) em feijão (*Phaseolus vulgaris*), nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em condições de campo, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.

Tratamentos	IPR-Curió	IPR-Uirapuru
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	0,58ns	0,18ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	0,37	0,24
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	0,23	0,24
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	0,31	0,18
Extrato pirolenhoso	0,24	0,23
AGROMOS®	0,61	0,32
Produto de fermentação microbiana	0,50	0,18
Bion®	0,15	0,14
Amistar Top®	0,28	0,12
Controle	0,48	0,29
Coefficiente de variação (%)	14,08	8,83

Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo,

Dados originais, transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

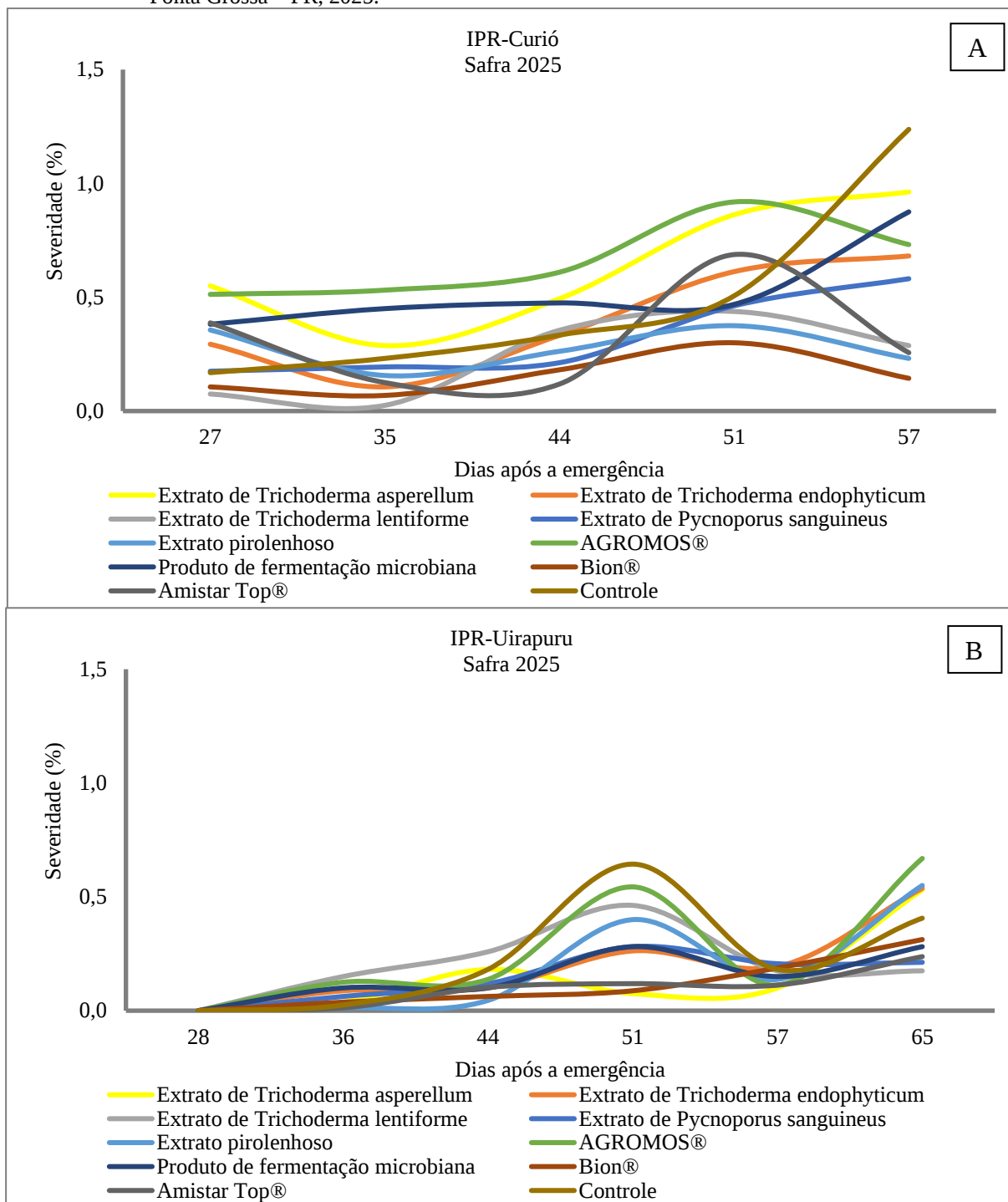
As curvas de severidade da antracnose na safra de 2025 corroboram com os baixos valores de AACPD obtidos (Figura 2.12A e B). Na cultivar IPR-Curió (Figura 2.12A), os primeiros sintomas foram observados já na primeira avaliação, aos 27 DAE, porém com severidades inferiores a 0,5%. Entre 35 e 44 DAE, observou-se um discreto aumento da severidade, com valores variando aproximadamente entre 0,3% e 0,6%, dependendo do tratamento. As maiores porcentagens de severidade na cultivar IPR-Curió ocorreram entre 44 e 51 DAE, período no qual os valores máximos ficaram próximos a 0,8-1,2%. O maior valor foi observado no tratamento controle, atingindo aproximadamente 1,2% aos 57 DAE.

Para a cultivar IPR-Uirapuru (Figura 2.12B), por sua vez, os sintomas puderam ser mensurados, ainda que em baixas porcentagens, na primeira avaliação aos 28 DAE, com severidade inferior a 0,1%. O principal aumento da doença ocorreu aos 51 DAE, quando alguns tratamentos atingiram valores máximos próximos a 0,5–0,7%, seguido por redução da severidade nas avaliações posteriores.

Um novo aumento da severidade foi observado aos 65 DAE (Figura 2.12B), especialmente no tratamento controle, com valores próximos a 0,6–0,7%. Ainda assim, os níveis de severidade permaneceram baixos durante todo o ciclo, e as curvas dos tratamentos mantiveram-se próximas entre si, o que explica os reduzidos valores de AACPD e a ausência de diferenças estatísticas entre os tratamentos na cultivar IPR Uirapuru.

De modo geral, as curvas de severidade e os valores de AACPD indicam que na safra de 2025 a antracnose apresentou baixa severidade em ambas as cultivares. As condições ambientais não favoreceram a infecção e desenvolvimento da doença, o que limitou a expressão de possíveis efeitos dos tratamentos avaliados sobre o progresso da antracnose em campo.

FIGURA 2.12 – Severidade (%) de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) nas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR-Curió (A) e IPR-Uirapuru (B) em condições de campo, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.



Fonte: a autora.

Da mesma forma que na safra de 2024, os componentes de rendimento e a produtividade não foram influenciados pelos tratamentos (Tabelas 2.11 e 2.12). A ausência de diferenças estatísticas significativas está diretamente relacionada à baixa severidade das doenças, que não

atingiram níveis capazes de comprometer o crescimento das plantas, seu desenvolvimento e o enchimento de grãos.

TABELA 2.11 – Altura de plantas (cm) e componentes de rendimento: plantas por metro, vagens por planta, grãos por vagem e peso de mil grãos (g), em função dos tratamentos aplicados nas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR-Curió e IPR-Uirapuru, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.

IPR-Curió					
Tratamentos	Altura de plantas (cm)	Plantas por metro	Vagens por planta	Grãos por vagem	Peso de mil grãos (g)
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	38,68ns	12,56ns	10,03ns	4,04ns	220,70ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	36,53	12,56	9,98	4,03	218,95
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	38,65	12,69	10,78	3,66	224,17
Extrato de <i>Pycnopus sanguineus</i>	38,18	12,31	11,10	3,98	223,75
Extrato pirolenhoso	32,45	12,63	8,23	3,62	235,58
AGROMOS®	35,80	12,56	9,58	3,96	232,61
Produto de fermentação microbiana	36,40	12,19	9,45	4,21	225,41
Bion®	36,55	12,50	10,45	3,62	231,73
Amistar Top®	38,80	12,63	9,75	4,31	226,19
Controle	35,43	12,44	8,78	3,60	230,69
Coeficiente de variação (%)	12,07	4,57	20,81	15,52	5,93
IPR-Uirapuru					
Tratamentos	Altura de plantas (cm)	Plantas por metro	Vagens por planta	Grãos por vagem	Peso de mil grãos (g)
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	50,55ns	10,31ns	11,20ns	4,20ns	242,13ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	49,15	10,06	10,60	4,13	229,26
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	44,63	10,63	10,45	4,27	237,12
Extrato de <i>Pycnopus sanguineus</i>	52,85	10,63	11,68	3,99	221,88
Extrato pirolenhoso	46,95	10,13	10,45	4,21	230,94
AGROMOS®	50,18	11,25	10,15	4,05	229,30
Produto de fermentação microbiana	47,93	10,31	10,95	4,17	221,46
Bion®	48,15	10,56	10,33	4,06	169,82
Amistar Top®	44,25	10,19	9,03	4,24	228,19
Controle	51,40	11,00	10,53	4,04	228,39
Coeficiente de variação (%)	10,90	8,92	15,33	8,67	16,64

Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de significância.

TABELA 2.12 – Produtividade (kg ha⁻¹) em função dos tratamentos aplicados nas cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) IPR-Curió e IPR-Uirapuru, na safra 2025. Ponta Grossa – PR, 2025.

Tratamentos	Produtividade	
	IPR-Curió	IPR-Uirapuru
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	2852,71ns	2592,67ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	2679,42	2231,48
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	2603,68	2519,88
Extrato de <i>Pycnopus sanguineus</i>	2580,97	2424,67
Extrato pirolenhoso	2571,12	2290,65
AGROMOS®	2467,33	2349,38
Produto de fermentação microbiana	2440,60	2325,47
Bion®	2417,49	2205,75
Amistar Top®	2087,54	1951,30
Controle	2036,78	2397,23
Coeficiente de variação (%)	30,45	19,02

Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de significância.

2.4 CONCLUSÕES

Os produtos alternativos e indutores de resistência apresentaram efeito sobre *Pseudocercospora griseola in vitro*, com redução do IVCN e da esporulação. Na primeira repetição, AGROMOS® e Amistar Top® reduziram o IVCN, enquanto AGROMOS®, o produto de fermentação microbiana e os extratos de *T. asperellum* e *T. endophyticum* reduziram a esporulação. Na segunda repetição, o extrato de *T. lentiforme* apresentou o menor IVCN, e todos os tratamentos reduziram a esporulação em relação ao controle.

Em casa de vegetação, não houve redução significativa da AACPD da mancha angular nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em ambas as repetições, embora IPR-Uirapuru tenha apresentado menor progresso da doença.

Em campo, na safra 2024, o fungicida e o produto de fermentação microbiana reduziram a AACPD da mancha angular em IPR-Curió, enquanto não houve diferença significativa entre os tratamentos em IPR-Uirapuru. Na safra 2025, apenas o fungicida reduziu a AACPD em IPR-Uirapuru, sem efeito significativo para IPR-Curió.

Para a antracnose, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos nas duas safras para IPR-Curió. Em IPR-Uirapuru, apenas o fungicida reduziu a AACPD na safra 2024, não havendo efeito significativo na safra 2025.

A baixa severidade das doenças nas condições de campo não impactou os componentes de rendimento nem a produtividade das cultivares avaliadas.

REFERÊNCIAS

- ADAPAR. Amistar Top® 400. **Bula**. Curitiba, 2024. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2024-02/amistar_top.pdf. Acesso em: 06 fev. 2026.
- ADAPAR. Bion® 500 WG. **Bula**. Curitiba, 2022. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2022-08/bion500wg.pdf. Acesso em: 27 set. 2023.
- ALLTECH. Agro-Mos®. **Safety Data Sheet**, v. 57, n. 78, 2012. Disponível em: <https://www.alltech.com/sites/default/files/2020-12/SDS%20Agro-Mos%200416DB.PDF>. Acesso em: 03 mai. 2023.
- ALMEIDA, C. P.; DE CARVALHO PAULINO, J. F.; BONFANTE, G. F. J.; PERSEGUINI, J. M. K. C.; SANTOS, I. L.; GONÇALVES, J. G. R.; PATRÍCIO, F. R. A.; TANIGUTI, C. H.; GESTEIRA, G. S.; GARCIA, A. A. F.; SONG, Q.; CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F.; BENCHIMOL-REIS, L. L. “Angular Leaf Spot Resistance Loci Associated With Different Plant Growth Stages in Common Bean.” **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 647043, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.647043>. Acesso em: 08 nov. 2025.
- ASSUNÇÃO, A. T. S.; DALLA PRIA, M.; CHRISTMANN, P. E. T.; SCHAFRANSKI, T. Controle de antracnose na cultura do feijão com produtos alternativos em casa de vegetação. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 9971-9982, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-031>. Acesso em: 05 jan. 2025.
- CALIXTO, G. B. **Leveduras no controle de *Colletotrichum truncatum* e seu efeito na produtividade da soja**. 51 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2020. Disponível em: https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4821/5/Guilherme_Calixto_2020.pdf. Acesso em: 08 nov. 2025.
- CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTI, E. A.; GODOY, C. V. SASM-Agri: sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, Ponta Grossa, v. 1, n. 2, p. 18-24, dez., 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/512901/1/SASMAGRI.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2023.
- CHÁVEZ-AVILÉS, M. N. *et al.* Volatile Organic Compounds Produced by *Trichoderma asperellum* with Antifungal Properties against *Colletotrichum acutatum*. **Microorganisms**, v. 12, n. 10, p. 2007, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/12/10/2007>. Acesso em: 04 jan. 2025.
- CHRISTMANN, P. E. T. P. **Produtos alternativos aplicados na cultura do feijão para controle da antracnose**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2019.

CHRISTMANN, P. E. T. P.; DALLA PRIA, M.; SCORTEGAGNA, P. V. Controle de *Colletotrichum lindemuthianum* em cultivares de feijão com *Trichoderma* spp. em casa de vegetação e folha destacada. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 8, p. 13825-13837, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.8-292>. Acesso em: 04 jan. 2025.

CARVALHO NETO, S.; SILVA, J. F.; SOUZA, M. C.; SILVA, H. F.; SILVA, E. C.; NASCIMENTO, L. C. Controle de *Colletotrichum* spp. em maracujazeiro amarelo com elicitores de resistência. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 11, n. 1, p. 157-164, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14107068>. Acesso em: 07 nov. 2025.

DEL PONTE, E. M.; MIZUBUTI, E. S. G. Epidemics: Disease in populations. In: OLIVER, R. P. (Ed.); **Agrios' Plant Pathology**. 6. ed. Cambridge: Academic Press, 2022. p. 235-254.

DERBALAH, A.; SHEBL, A. M.; ELGOBASHY, S. F.; AHMAD, A. A.; RAMADAN, N. E.; BEHIRY, S. I.; ABDELKHALEK, A.; SALEEM, M. H.; AL-ASKAR, A. A.; KAMRAN, M.; ELSHARKAWY, M. M. Resistance induction and direct antifungal activity of some monoterpenes against *Rhizoctonia solani*, the causal of root rot in common bean. **Life**, v. 12, n. 7, p. 1040, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/life12071040>. Acesso em: 07 nov. 2025.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Manual de Identificação das principais doenças do feijoeiro-comum**. Brasília: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2018. 49 p.

EPB – Extrato Pirolenhoso do Brasil. **Extrato Pirolenhoso®**, 2023. Disponível em: <https://extratopirolenhosodobrasil.com/epb/>. Acesso em: 27 set. 2023.

GABARDO, G.; DALLA PRIA, M.; SILVA, H. L.; HARMS, M. G. Produtos alternativos para o controle de doenças de final de ciclo na soja. **Ciência Rural**, v. 52, n. 2 p. 1-6, 2022. Disponível em: <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210260>. Acesso em: 04 jan. 2025.

GAZOLA, V. D.; SANTOS, M. C. B. R.; NEGRELLI, J. G. D.; POLONIO, J. C. Importância de fungos do gênero *Trichoderma* para a agricultura: mecanismos de ação e melhoramento genético. **Peer Review**, v. 6, n. 16, p. 141-156, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.53660/PRW-2592-4616> Acesso em: 04 jan. 2025.

GODOY, C. V.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.; IMAUTI, M. T.; DALLA PRIA, M.; AMORIM, L.; BERGER, R. D.; BERGAMIN FILHO, A. Diagrammatic scales for bean diseases: development and validation. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 104, n. 4, p. 336-345, jul., 1997. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/43215167>. Acesso em: 02 ago. 2023.

GUO, Y.; GHIRARDO, A.; WEBER, B.; SCHNITZLER, J. P.; BENZ, J. P.; ROSENKRANZ, M. *Trichoderma* species differ in their volatile profiles and in antagonism toward ectomycorrhiza *Laccaria bicolor*. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00891>. Acesso em: 07 nov. 2025.

IDR-PARANÁ (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná). **Cultivar de feijão IPR88 Uirapuru**. 2000, 2p. Disponível em:

<https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/pesquisa/publicacoes/folder/fld-ipr-uirapuru/Folder%20Feijao%20IPR%20Uirapuru.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2023.

IDR-PARANÁ (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná). **Feijão IPR Curió**. 2013, 2p. Disponível em:

<https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/pesquisa/publicacoes/folder/fld-ipr-curio/Folder%20Feijao%20IPR%20Curio.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2023.

ISAIAS, C. O.; MARTINS, I.; SILVA, J. B. T. D.; SILVA, J. P. D.; MELLO, S. C. M. D. Ação antagônica e de metabólitos bioativos de *Trichoderma* spp. contra os patógenos *Sclerotium rolsii* e *Verticillium dahliae*. **Summa Phytopathologica**, Campinas, v. 40, p. 34-41, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052014000100005>. Acesso em: 18 jul. 2023.

LEE, S.; YAP, M.; BEHRINGER, G.; HUNG, R.; BENNETT, J. W. Volatile organic compounds emitted by *Trichoderma* species mediate plant growth. **Fungal Biology and Biotechnology**, v. 3, n. 1, p. 7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40694-016-0025-7>. Acesso em: 07 nov. 2025.

LIANG, L.; LI, Y.; ZHAO, C.; GUO, S.; WANG, L.; YU, Y.; YANG, X.; ZHENG, J. Spermine alleviates heat-induced senescence in creeping bentgrass. **Biologia Plantarum**, v. 65, n. 1, p. 179-191, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.32615/bp.2021.008>. Acesso em: 08 nov. 2025.

MADDEN, L. V. Reflections on the past, present, and future of quantitative plant disease epidemiology. **Annual Review of Phytopathology**, v. 63, p. 1–22, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-031725-033728>. Acesso em: 08 nov. 2025.

MARQUES, R. P.; MONTEIRO, A. C.; PEREIRA, G. T. Crescimento, esporulação e viabilidade de fungos entomopatogênicos em meios contendo diferentes concentrações do óleo de Nim (*Azadirachta indica*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n. 6, p.1675-1680, dez., 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000600002>. Acesso em: 30 set. 2023.

MEENA, M.; YADAV, G.; SONIGRA, P.; NAGDA, A.; MEHTA, T.; SWAPNIL, P.; HARISH, H.; MARWAL, A. Role of elicitors to initiate the induction of systemic resistance in plants to biotic stress. **Plant Stress**, v. 5, art. 100103, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100103>. Acesso em: 07 nov. 2025.

MENG, Y.; WANG, J.; XU, H.; YU, Y.; LIANG, Y. A Novel Plate Compartment–Confrontation Method Discovered That Volatile Organic Compounds Produced by *Saccharomyces cerevisiae* Inhibit *Botrytis cinerea* and *Fusarium graminearum*. **Journal of Fungi**, v. 11, n. 6, p. 418, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jof11060418>. Acesso em: 07 nov. 2025.

NAY, M. M.; SOUZA, T. L. P. O.; RAATZ, B.; MUKANKUSI, C. M.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; ABREU, A. F. B.; MELO, L. C.; PASTOR-CORRALES, M. A. A Review of Angular Leaf Spot Resistance in Common Bean. **Crop Science**, v. 59, n. 4, p. 1376-1391, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0596>. Acesso em: 07 nov. 2025.

- OLIVEIRA, J. A. **Efeito do fungicida em sementes no controle de tombamento de plântulas de pepino (*Cucumis sativus* L.) e pimentão (*Capsicum annuum* L.)**. 111 p. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/33483>. Acesso em: 02 fev. 2023.
- PÉREZ-LÓPEZ, R. I.; ROMERO-ARENAS, O.; LEZAMA, C. P.; LÓPEZ, A. R.; RIVERA, A.; RAMÍREZ, L. C. Comparison of Three Biological Control Models of *Pycnoporus sanguineus* on Phytopathogenic Fungi. **Applied Sciences**, v. 14, n. 18, p. 8263, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app14188263>. Acesso em: 05 jan. 2025.
- PRASANNATH, K. Plant defense-related enzymes against pathogens: a review. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 11, n. 1, p. 38-48, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4038/agrieast.v11i1.33>. Acesso em: 07 ago. 2024.
- RAMÍREZ-BUSTOS, I. I.; FERNÁNDEZ-HERRERA, E.; SALDARRIAGA-NOREÑA, H.; ORTEGA-ROSAS, C. I.; LÓPEZ-PÉREZ, M. C. Efecto del acibenzolar S-metil en la marchitez vascular (*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*) de la sandía. **Ecosistemas y Recursos Agropecuarios**, v. 12, n. 2, p. e4260, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.19136/era.a12n2.4260>. Acesso em: 07 nov. 2025.
- SCORTEGAGNA, P. V.; DALLA PRIA, M.; DIAS, C. T. S.; RINALDI, P. E. C. Influence of culture media and *Trichoderma* spp. on the growth and sporulation of *Pseudocercospora griseola* in vitro. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 13, p.1-13, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-150>. Acesso em: 04 jan. 2025.
- SILVA, H. F. **Indução de resistência em algodoeiro no controle de doenças**. 101p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/29631>. Acesso em: 06 jan. 2025.
- SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, v. 67, n. 8, p. 1051-1056. 1977. Disponível em: https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1977Articles/Phyto67n08_1051.PDF. Acesso em: 02 out. 2023.
- VAN DER HEYDEN, H.; DUTILLEUL, P.; CHARRON, J.-B.; BILODEAU, G. J.; CARISSE, O. Monitoring airborne inoculum for improved plant disease management: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, art. 40, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00694-z>. Acesso em: 08 nov. 2025.
- VENZON, M.; PALLINI, A.; NEVES, W. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BETTIOL, W.; VILELA, E. F. Inovações para o manejo sustentável de pragas e doenças. In: VENZON, M. et al. (org). **Controle alternativo de pragas e doenças: opção ou necessidade?** Belo Horizonte, MG. EPAMIG, 2019, p. 10-17. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Michela-Batista/publication/355916721_Green_lacewings_and_their_role_in_pest_management/links/6184352deef53e51e12e9baf/Green-lacewings-and-their-role-in-pest-management.pdf#page=10. Acesso em: 04 jan. 2025.

WENDLAND, A.; MOREIRA, A. S.; BIANCHINI, A.; GIAMPAN, J. S.; LOBO JR, M. Doenças do Feijoeiro. In: AMORIM, L. *et al.* (org). **Manual de Fitopatologia**, vol 2: Doenças das Plantas Cultivadas. 5 ed. Ouro Fino, MG: Editora Agronômica Ceres, 2016, p. 383-400.

YADAV, M.; DUBEY, M. K.; UPADHYAY, R. S. Systemic resistance in chilli pepper against anthracnose (caused by *Colletotrichum truncatum*) induced by *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma asperellum* and *Paenibacillus dendritiformis*. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 4, p. 307, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jof7040307>. Acesso em: 5 jan. 2025.

YANG, T.; WANG, C.; LI, C.; SUN, R.; YANG, M. Antagonistic effects of volatile organic compounds of *Saccharomyces cerevisiae* NJ-1 on the growth and toxicity of *Aspergillus flavus*. **Biological Control**, v. 177, art. 105093, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105093>. Acesso em: 08 nov. 2025.

ZAFFAR, A.; SHAFI, S.; FATIMA, S.; RIYAZ, I.; NABI, A.; GANI, S.; ZARGAR, S. M.; MIR, R. R.; NABI, S.; SOFI, P. A. Unveiling biochemical dynamics in common bean–*Pseudocercospora* pathosystem under angular leaf spot pressure in Western Himalayan Kashmir. **Journal of Crop Health**, v. 76, n. 6, p. 1343–1356, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10343-024-01035-2>. Acesso em: 08 nov. 2025.

CAPÍTULO 3 – PRODUTOS ALTERNATIVOS PARA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA À MANCHA ANGULAR EM PLANTAS DE FEIJÃO

RESUMO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de elevada importância socioeconômica no Brasil, cuja produtividade pode ser severamente afetada pela mancha angular, causada por *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & U. Braun. Diante da necessidade de estratégias mais sustentáveis para o manejo de doenças, a indução de resistência por meio de produtos alternativos tem se destacado como uma abordagem promissora. Assim, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a indução de resistência em plantas de feijão por meio de análises bioquímicas, após a aplicação de diferentes produtos alternativos, via pulverização foliar e tratamento de sementes. Os experimentos foram conduzidos em cultivo protegido, utilizando as cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, com e sem inoculação do patógeno. Foram avaliadas a atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase em diferentes tempos após a aplicação dos tratamentos, bem como o acúmulo da fitoalexina faseolina em hipocótilos de feijão. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os resultados indicaram que os produtos alternativos aplicados via foliar não foram eficientes na indução de respostas bioquímicas de defesa em plantas de feijão. O tratamento de sementes com *Trichoderma* spp. apresentou efeito positivo sobre a atividade da peroxidase em plântulas da cultivar IPR-Curió na presença do patógeno, o que evidenciou que a resposta à produção da enzima é dependente do genótipo e da forma de aplicação do produto. O acúmulo de faseolina não foi observado nas condições experimentais avaliadas.

Palavras-chave: Resistência induzida; Mancha angular; Enzimas oxidativas; Fitoalexinas; *Phaseolus vulgaris*, *Pseudocercospora griseola*.

CHAPTER 3 – ALTERNATIVE PRODUCTS FOR INDUCING RESISTANCE TO ANGULAR LEAF SPOT IN COMMON BEAN PLANTS

ABSTRACT

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a crop of great socioeconomic importance in Brazil, and its productivity can be severely affected by angular leaf spot, caused by *Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & U. Braun. In light of the need for more sustainable disease management strategies, the induction of resistance through alternative products has emerged as a promising approach. In this context, the present study aimed to evaluate resistance induction in bean plants through biochemical analyses following the application of different alternative products, applied either by foliar spraying or seed treatment. The experiments were conducted under protected conditions, using the cultivars IPR-Curió and IPR-Uirapuru, with and without pathogen inoculation. Peroxidase and polyphenol oxidase activities were measured at different time points after treatment application, and phaseolin accumulation in bean hypocotyls was also assessed. The data were subjected to analysis of variance, and means were compared using Tukey's test at the 5% significance level. The results showed that the alternative products applied via foliar spraying were not effective in inducing biochemical defense responses in bean plants. In contrast, seed treatment with *Trichoderma* spp. had a positive effect on peroxidase activity in seedlings of the IPR-Curió cultivar in the presence of the pathogen, indicating that enzyme-related responses depend on both genotype and mode of application. Phaseolin accumulation was not detected under the experimental conditions evaluated.

Keywords: Induced resistance; Angular leaf spot; Oxidative enzymes; Phytoalexins; *Phaseolus vulgaris*, *Pseudocercospora griseola*.

3.1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é de grande importância para a agricultura brasileira, pela ampla adaptação a diferentes regiões e sistemas de cultivo e pelo grande consumo do grão pela população (Domene; Ghedini; Steluti, 2021). Sua produtividade, no entanto, é frequentemente comprometida por doenças fúngicas, como a mancha angular (*Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & U. Braun). Tal doença é amplamente distribuída nas áreas produtoras de todo o Brasil e pode causar reduções expressivas de rendimento, sobretudo quando condições ambientais favoráveis ao patógeno coincidem com cultivares suscetíveis.

Frente aos desafios associados ao uso de defensivos químicos para controle de doenças fúngicas em feijão, a indução de resistência em plantas tem emergido como estratégia alternativa e sustentável para o manejo de doenças (Figueiredo *et al.*, 2023; Toillier *et al.*, 2020). A indução de resistência baseia-se na ativação de mecanismos de defesa das plantas, frequentemente mediada por elicitores exógenos, ou seja, substâncias externas colocadas em contato com a planta (Locateli, 2017).

Do ponto de vista bioquímico, a resistência induzida envolve uma série de alterações metabólicas nas plantas, destacando-se principalmente a ativação do metabolismo oxidativo e da rota dos compostos fenólicos. Enzimas como as peroxidases e a polifenoloxidase estão diretamente associadas a esses processos, participando da produção de espécies reativas de oxigênio, da oxidação de fenóis e do fortalecimento estrutural das paredes celulares por meio da lignificação. Essas respostas contribuem para limitar a colonização do patógeno e reduzir a progressão da doença.

Além das enzimas oxidativas, a síntese de fitoalexinas representa um dos mecanismos mais característicos da resistência induzida. No feijão, a faseolina é a principal fitoalexina associada às respostas de defesa, sendo rapidamente sintetizada após a percepção do patógeno ou dos estímulos por elicitores. A faseolina apresenta atividade antifúngica comprovada e tem sido amplamente utilizada como marcador bioquímico em estudos de resistência induzida nessa cultura (Taiz *et al.*, 2017).

Diversas pesquisas têm demonstrado o potencial de produtos alternativos na ativação dos mecanismos de defesa das plantas. Fungos do gênero *Trichoderma*, por exemplo, são reconhecidos não apenas pelo antagonismo direto a fitopatógenos, mas também pela sua capacidade elicitora, ao estimular respostas de defesa em plantas (Philip *et al.*, 2024; Pittner *et al.*, 2018). De forma semelhante, extratos de fungos basidiomicetos, mananoligossacarídeos, produtos de fermentação microbiana e compostos como o acibenzolar-S-metílico também são relacionados à ativação de vias de sinalização associadas à resistência induzida (Brito *et al.*, 2025; Suárez *et al.*, 2025; Schulman *et al.*, 2022).

Existem, no entanto, lacunas quanto à compreensão da dinâmica das respostas de indutores, especialmente no que se refere à influência do tipo e estágio de aplicação, da influência do patógeno e das diferenças entre cultivares. Dessa forma, a avaliação integrada de diferentes indicadores bioquímicos, ao longo do tempo e sob diferentes condições experimentais, torna-se fundamental para compreender de forma mais consistente a indução de resistência em plantas de feijão.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de produtos alternativos na indução de resistência à mancha angular, por meio da análise da atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase em plantas e plântulas e do acúmulo da fitoalexina faseolina em hipocótilos de feijão.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Obtenção de Extratos para Análise Enzimática

Com o objetivo de comprovar a indução de resistência proporcionada pelos tratamentos (Tabela 3.1), foram realizadas análises enzimáticas, de acordo com as propostas por Lusso e Pascholati (1999) e Duangmail e Apenten (1999), Umesha (2006), Fialho (2004) e Solino *et al.* (2017).

Foram realizados dois experimentos com aplicações foliares dos tratamentos (Tabela 2.1) no estágio vegetativo V3 (primeiro trifólio desenvolvido). Para isso, vasos plásticos, acondicionados em casa de vegetação, foram preenchidos com 15 litros de substrato e em seguida semeadas 15 sementes de feijão das cultivares IPR-Uirapuru e IPR-Curió. Após a emergência, foram selecionadas as plantas mais vigorosas, nas quais houve a aplicação dos tratamentos.

Em ambos os experimentos foram aplicados 10 mL por planta de calda contendo o respectivo tratamento (Tabela 3.1) dissolvido em água, exceto na testemunha, na qual foi aplicada apenas água destilada. Somente no experimento 1 houve a inoculação do patógeno após a aplicação dos tratamentos. O isolado de *P. griseola* utilizado para a produção da suspensão de inóculo é originário de Ponta Grossa/PR e a concentração utilizada foi de 2,5 conídios 10^6 mL^{-1} , provenientes de colônias esporuladas do patógeno em meio de cultura aveia-água.

TABELA 3.1 – Tratamentos e suas respectivas concentrações de produtos utilizados para análise da atividade das enzimas em feijão (*Phaseolus vulgaris*) Ponta Grossa – PR, 2024.

Tratamento	Concentração
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	25% v/v
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	25% v/v
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	25% v/v
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	25% v/v
Extrato pirolenhoso ¹	5 mL L ⁻¹
(AGROMOS) ²	3 mL L ⁻¹
Produto de fermentação microbiana	2,5 mL L ⁻¹
(Bion) ³	0,125 g L ⁻¹
AMISTAR TOP ⁴	0,625 mL L ⁻¹
Água destilada e esterilizada (Controle)	-

Fonte: a autora.

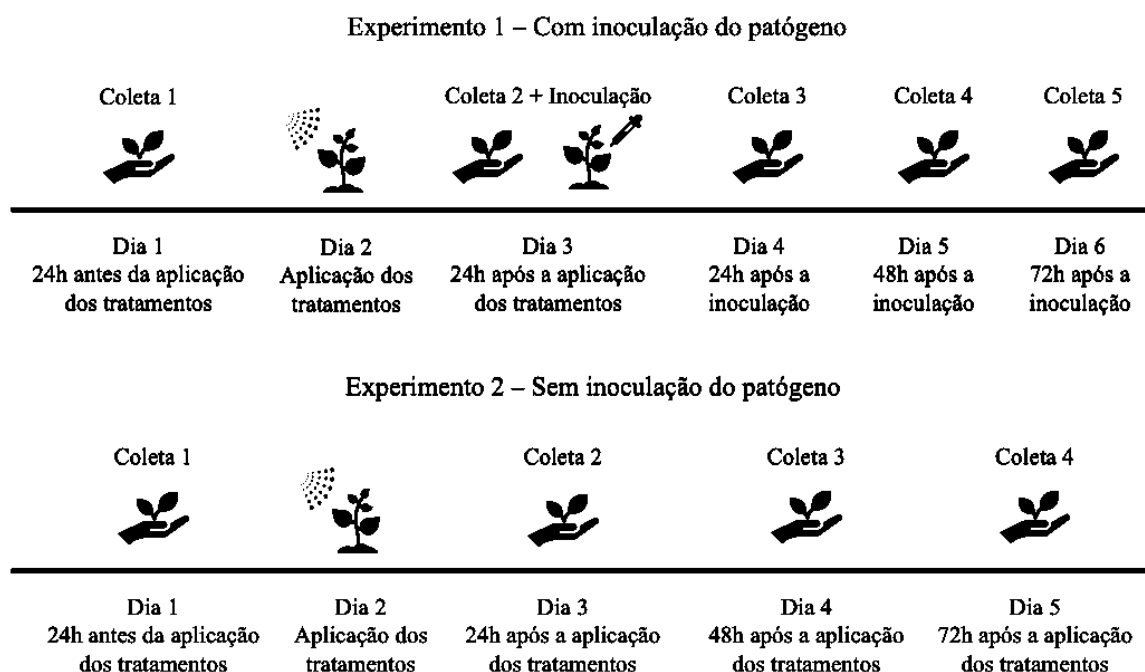
Notas: Volume de aplicação considerado: 200 L ha⁻¹. Fonte: ¹EPB Brasil (2022); ²ALLTECH (2012) ³ADAPAR (2022); ⁴ADAPAR (2021).

Os dois experimentos tiveram delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Cada repetição consistiu em uma planta coletada por tempo após a aplicação dos tratamentos. Foram estabelecidos os esquemas de coleta demonstrados na Figura 3.1.

Em todas as coletas, as plantas foram destacadas e congeladas imediatamente em nitrogênio líquido. Após o congelamento, foram acondicionadas em embalagem plástica, identificadas e mantidas em freezer até a preparação dos extratos proteicos.

Foram realizados outros dois experimentos com aplicações dos tratamentos via sementes. Em ambos foram aplicados em 50 sementes, 10 mL de calda contendo o respectivo tratamento (Tabela 3.1) dissolvido em água, exceto na testemunha, na qual foi aplicada apenas água destilada esterilizada. Somente no experimento 1, novamente, houve a inoculação do patógeno, que ocorreu sete dias após a emergência (Figura 3.2).

FIGURA 3.1 – Esquema de execução do experimento visando a coleta de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) com inoculação do patógeno (*Pseudocercospora griseola*) para análise enzimática.



Fonte: a autora.

Houve o desbaste de plântulas excedentes aos cinco dias após a emergência, permanecendo as mais vigorosas e sem sinais de danos. Os experimentos 1 e 2 tiveram delineamento inteiramente aleatorizado, com quatro repetições. Cada repetição consistiu em 10 plântulas coletadas após a emergência ou inoculação.

Em todas as coletas, as plantas e plântulas foram destacadas e congeladas instantaneamente em nitrogênio líquido. Após o congelamento, foram acondicionadas em embalagem plástica, identificadas e mantidas em freezer até a preparação dos extratos proteicos.

FIGURA 3.2 – Esquema de execução do experimento de tratamento de sementes, visando a coleta de plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) para análise enzimática. DAE – Dias após a emergência.



Fonte: a autora.

3.2.1.1 Obtenção dos extratos proteicos

Para a obtenção dos extratos proteicos, 0,5 g de folhas das plantas ou plântulas coletadas foram maceradas em quatro mL de tampão acetato de sódio 100 mM (pH 5,0), com auxílio de almofariz e pistilo. O homogenato foi centrifugado a 20.000g durante 25 minutos a 4°C, sendo o sobrenadante obtido considerado como extrato proteico. Após a preparação do extrato, este permaneceu em freezer para sua conservação e posterior utilização nas análises da atividade de enzimas.

3.2.2 Atividade de Enzimas

A quantificação da atividade das enzimas foi realizada a partir do extrato proteico obtido (Item 3.2.1.1) e segue as metodologias expostas a seguir.

3.2.2.1 Atividade de peroxidase

A atividade de peroxidase de guaiacol (EC 1.11.1.7) foi quantificada através da metodologia de Lusso e Pascholati (1999).

Com objetivo de quantificar a enzima, foi preparada uma solução contendo 250 μL de guaiacol; 306 μL de peróxido de hidrogênio; e 100 mL de tampão fosfato 0,01 M (pH 6,0). A mistura da reação, por sua vez, consistiu em 0,10 mL do extrato proteico e 2,9 mL de solução de guaiacol preparada. A mistura foi realizada em tubos de ensaio que foram mantidos em banho maria, na temperatura de 30°C, antes da leitura.

A leitura das amostras foi realizada em cubeta, no volume de 3 mL. O espectrofotômetro foi regulado a 470 nm, em absorbância. O padrão branco utilizado foi de 3 mL da solução de guaiacol.

Os resultados foram expressos em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS $\text{g}^{-1}.\text{pf}$).

3.2.2.2 Atividade de polifenoloxidase

A atividade de polifenoloxidase de catecol (EC 1.10.3.2) foi quantificada através da metodologia de Duangmail e Apenten (1999).

Foi preparada a solução de catecol com 50 mL de tampão fosfato de sódio 100 mM (pH 6,8) + 0,1101 g de catecol (20 mM). A mistura da reação consistiu em 900 μL da solução de catecol + 100 μL do extrato enzimático, e mantida a 30°C, em banho maria, antes da leitura.

O padrão branco utilizado consistiu em 3mL de solução de catecol. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 420 nm, sendo a primeira, realizada no tempo zero e a segunda, dois minutos após a primeira. Os resultados foram expressos pela diferença entre a segunda e a primeira leitura em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\Delta\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$).

3.2.3 Fitoalexina Faseolina

Foi realizada a quantificação da fitoalexina faseolina conforme metodologia proposta por Dixon *et al.* (1983) e adaptada por Solino *et al.* (2017).

Para essa quantificação, as sementes de feijão foram desinfestadas em hipoclorito de sódio por cinco minutos, em seguida lavadas com água esterilizada e semeadas em bandejas com areia esterilizada. As bandejas com as sementes plantadas foram mantidas em câmara climatizada com temperatura de 25°C $\pm$ 2, na ausência de luz.

Após sete dias, os hipocótilos estiolados das plantas foram retirados e lavados em água esterilizada. Os hipocótilos foram divididos em quatro segmentos, pesados e colocados em gerbox com papel filtro umedecido com água destilada esterilizada.

Os tratamentos (Tabela 3.1) preparados foram pulverizados sobre os segmentos de hipocótilos e os gerbox foram mantidos em BOD a $25^{\circ}\text{C} \pm 2$, no escuro. Após 48h, os hipocótilos foram transferidos para tubos com 10 mL de etanol e acondicionados a 4°C por mais 48 horas.

Em seguida, os tubos foram agitados em agitador orbital a 200 rpm por uma hora para a extração da faseolina. As medidas foram realizadas em espectrofotômetro a 280 nm e os resultados expressos como unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g pf^{-1}).

O delineamento experimental para a extração de faseolina foi inteiramente aleatorizado, com quatro repetições. Cada repetição consistiu em um hipocótilo segmentado em 4 partes.

3.2.4 Análise Estatística

Os dados da atividade enzimática de peroxidase e polifenoloxidase, expressos em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$), foram obtidos em coletas destrutivas realizadas ao longo do tempo. Dessa forma, as observações em cada tempo foram consideradas independentes. Todos os resultados encontrados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, com o software SASM-Agri (Canteri *et al.*, 2001).

3.3 RESULTADOS

Para as avaliações da atividade de peroxidase e polifenoloxidase, a coleta realizada 24 horas antes da aplicação dos tratamentos não foi submetida à análise estatística, uma vez que antecede a aplicação dos produtos e, portanto, não há possibilidade de efeito dos mesmos sobre as respostas bioquímicas avaliadas. Conforme descrito no delineamento experimental, essa coleta teve caráter exclusivamente referencial, permitindo a caracterização do estado enzimático inicial das plantas, previamente à aplicação dos tratamentos.

3.3.1 Peroxidase

3.3.1.1 Peroxidase em plantas de feijão

Na análise realizada 24 horas após a aplicação dos tratamentos (24h DT), para IPR-Curió (Tabela 3.2), foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos. O produto de fermentação microbiana (PFM) apresentou o maior valor médio de atividade de peroxidase,

estatisticamente superior aos tratamentos com extrato de *T. asperellum*, *T. lentiforme*, extrato pirolenhoso e Amistar Top®, que tiveram as menores médias. Os tratamentos com AGROMOS®, extrato de *T. endophyticum*, *P. sanguineus* e Bion®, apresentaram valores intermediários, não diferindo estatisticamente do PFM.

Em 24 horas após a inoculação (24h DI) (Tabela 3.2), verificou-se aumento da atividade de peroxidase em diversos tratamentos, porém o controle também esteve entre as maiores médias. Os maiores acúmulos de peroxidase foram observados para produto de fermentação microbiana, Bion®, Amistar Top® e controle, os quais não diferiram estatisticamente entre si. O extrato de *P. sanguineus* teve o menor acúmulo, diferindo significativamente dos melhores tratamentos.

Na avaliação realizada em 48h após a inoculação (48h DI) (Tabela 3.2), o produto de fermentação microbiana apresentou a maior atividade de peroxidase, diferindo estatisticamente dos tratamentos com extratos de *T. asperellum*, *T. endophyticum*, *T. lentiforme* e *P. sanguineus*. Novamente, o tratamento controle não diferiu estatisticamente das maiores médias, e permaneceu intermediário a todos os tratamentos.

Em 72h após a inoculação (72h DI) (Tabela 3.2), observaram-se diferenças estatísticas entre os tratamentos, com destaque para o extrato de *T. endophyticum*, que apresentou a maior média. Esse diferiu estatisticamente do extrato de *P. sanguineus*, extrato pirolenhoso e produto de fermentação microbiana.

TABELA 3.2 – Acúmulo de peroxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g⁻¹.pf), em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) da cultivar IPR-Curió após a aplicação dos tratamentos e inoculação do fungo *Pseudocercospora griseola*, em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2024.

Tratamentos	24h AT	24h DT	24h DI	48h DI	72h DI
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	80,70	59,60bc ¹	44,04bc	52,32bc	114,94ab
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	58,86	103,64ab	92,44ab	48,30bc	136,26a
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	59,10	55,62bc	85,74abc	49,14bc	123,26ab
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	55,62	71,36abc	35,62c	41,22c	65,10bc
Extrato pirolenhoso	25,54	62,68bc	40,52bc	72,00abc	57,10bc
AGROMOS®	35,28	119,68ab	72,14abc	125,16ab	81,52abc
Produto de fermentação microbiana	56,12	136,58a	132,90a	142,42a	32,88c
Bion®	95,06	120,14ab	127,34a	117,44ab	90,84abc
Amistar Top®	29,56	48,26c	117,04a	95,00abc	100,66ab
Controle	16,22	78,10abc	106,64a	79,68abc	75,72abc
Coeficiente de variação (%)	-	17,45	15,82	20,25	17,06

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo. AT: antes dos tratamentos; DT: depois dos tratamentos; DI: depois da inoculação. Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Para IPR-Uirapuru com inoculação do patógeno (Tabela 3.3), nas avaliações de peroxidase realizadas 24 horas após a aplicação dos tratamentos, 24 e 48 horas após a inoculação, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos. Esse resultado indica que, nesse momento, os produtos avaliados não promoveram alterações significativas na atividade de peroxidase em relação à testemunha.

TABELA 3.3 – Acúmulo de peroxidase, expresso em unidades de absorvância por grama de peso fresco (ABS g⁻¹.pf), em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) da cultivar IPR-Uirapuru após a aplicação dos tratamentos e inoculação do fungo *Pseudocercospora griseola*, em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2024.

Tratamentos	24h AT	24h DT	24h DI	48h DI	72h DI
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	141,34	130,12ns	135,42ns	71,40ns	135,94a ¹
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	134,78	138,78	123,22	68,08	121,84ab
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	99,32	142,74	118,44	33,38	103,56ab
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	68,12	131,74	142,48	55,22	135,06a
Extrato pirolenhoso	114,04	112,92	86,74	40,38	104,22a
AGROMOS [®]	127,26	89,60	97,16	88,18	75,02ab
Produto de fermentação microbiana	105,66	120,30	103,82	52,74	44,78b
Bion [®]	86,06	109,62	80,24	71,04	60,86ab
Amistar Top [®]	25,74	129,86	131,88	86,38	108,80ab
Controle	113,20	144,26	127,70	72,00	110,58ab
Coefficiente de variação (%)	-	10,33	13,80	30,03	18,49

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo. AT: antes dos tratamentos; DT: depois dos tratamentos; DI: depois da inoculação. Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Somente na avaliação realizada em 72 horas após a inoculação (72h DI) foram detectadas diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 3.3). Nessa coleta, o produto de fermentação microbiana apresentou a menor atividade de peroxidase, diferindo estatisticamente dos tratamentos com extrato de *T. asperellum*, extrato de *P. sanguineus* e extrato pirolenhoso, os quais apresentaram as maiores atividades da enzima. De forma geral, os resultados obtidos para a cultivar IPR-Uirapuru indicaram que a atividade de peroxidase apresentou baixa sensibilidade aos tratamentos ao longo do tempo, tendo diferenças apenas no último tempo de avaliação, no entanto, apresentando o controle entre as maiores médias.

No experimento 2, conduzido sem a inoculação de *P. griseola*, foram avaliados quatro tempos de coleta. Para IPR Curió (Tabela 3.4), na avaliação realizada 24 horas após a aplicação dos tratamentos (24h DT), foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. O maior valor de atividade de peroxidase foi registrado para o tratamento com Bion[®], o qual não diferiu estatisticamente do controle, indicando novamente que não houve efeito dos tratamentos no acúmulo da enzima.

Em 48 e 72 horas após a aplicação dos tratamentos (48h/72h DT), não foram

observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos. Esse resultado indica que, nesse momento, a atividade de peroxidase foi semelhante entre todos os tratamentos avaliados, incluindo a testemunha.

TABELA 3.4 – Acúmulo de peroxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g⁻¹.pf), em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) da cultivar IPR-Curió após a aplicação dos tratamentos em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2024.

Tratamentos	24h AT	24h DT	48h DT	72h DT
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	54,76	62,86ab	76,78ns	138,06ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	39,46	43,1b	71,6	69,3
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	37,5	71,94ab	74,82	76,64
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	26,04	72,1ab	84,08	117,9
Extrato pirolenhoso	28,64	124,44ab	106,2	77,9
AGROMOS®	29,68	85,96ab	97,08	102,48
Produto de fermentação microbiana	22,48	107,36ab	93,78	139,92
Bion®	15,72	140,62a	92,08	117,7
Amistar Top®	19,94	109,44ab	67,88	78,08
Controle	13,44	137,3a	107,82	82,4
Coeficiente de variação (%)	-	17,90	15,56	20,35

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo. AT: antes dos tratamentos; DT: depois dos tratamentos.

Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Para IPR-Uirapuru (Tabela 3.5), em todas as coletas realizadas, não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos. De forma geral, os resultados obtidos para ambas as cultivares no experimento sem inoculação demonstram que os tratamentos não foram capazes de promover alterações na atividade de peroxidase.

TABELA 3.5 – Acúmulo de peroxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g⁻¹.pf), em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) da cultivar IPR-Uirapuru após a aplicação dos tratamentos em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2024.

Tratamentos	24h AT	24h DT	48h DT	72h DT
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	19,4	80,7ns	110ns	112,7ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	15,36	84,96	100,24	83,08
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	11,52	65,88	102,26	78,78
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	11,62	123,08	68,32	71,5
Extrato pirolenhoso	14,62	77,26	93,92	88,18
AGROMOS®	15,4	44,62	105,84	141,58
Produto de fermentação microbiana	9,34	68,96	132,2	95,94
Bion®	21,94	78,96	131,62	136,96
Amistar Top®	12,8	55,7	104,82	124,68
Controle	13,66	100,98	137,66	113,58
Coeficiente de variação (%)	-	28,78	16,36	18,77

Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo pelo teste de Tukey, a 5% de significância. AT: antes dos tratamentos; DT: depois dos tratamentos.

A ausência de um padrão de aumento da atividade de peroxidase em resposta aos tratamentos, juntamente com a permanência do controle entre as maiores médias, indica que a indução dessa enzima foi inconclusiva para as cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em ambos

os experimentos, com e sem inoculação do patógeno. Esse resultado pode estar relacionado ao fato de que a peroxidase integra o sistema primário de defesa vegetal, ativada em resposta à estresses ou à presença de patógenos, independentemente de estímulos elicitores, o que dificulta a distinção entre as respostas primárias e as associadas à resistência induzida (Van Loon; Rep; Pieterse, 2006; Hammerschmidt, 1999).

Embora no presente estudo a atividade de peroxidase não tenha apresentado respostas consistentes para os tratamentos e condições avaliadas, outros autores relatam aumento significativo dessa enzima em plantas submetidas à aplicação de indutores de resistência. Aseel *et al.* (2023) observaram que a aplicação foliar de *Trichoderma viride* Tvd44 em plantas de batata (*Solanum tuberosum* L.) resultou em um aumento da atividade da peroxidase após a inoculação com *Potato Virus Y* (PVY). O isolado foi aplicado por pulverização de suspensão de conídios na parte aérea das plantas, seguida da inoculação do vírus. A atividade enzimática foi determinada cerca de duas semanas após a inoculação do patógeno, quando já era possível detectar a resposta bioquímica das plantas.

Em estudo que avaliou produtos alternativos no manejo do oídio (*Podosphaera xanthii*) em melão (*Cucumis melo* L.), o AGROMOS® promoveu aumento da atividade de peroxidase em relação à testemunha, indicando a ativação de respostas de defesa nas plantas. O produto foi aplicado via pulverização de parte aérea e a atividade enzimática foi determinada cerca de 57 dias após a inoculação do patógeno (Freires *et al.*, 2022).

Stangarlin *et al.* (2012), avaliando a aplicação de extrato aquoso de *P. sanguineus* aplicado exclusivamente no terceiro folíolo de plantas de feijão, observaram indução da atividade de peroxidase de forma sistêmica. No terceiro folíolo, na concentração de 10%, o extrato apresentou menor atividade enzimática aos três dias após a inoculação em comparação à água e ao fungicida, e valores inferiores ao ASM aos 5 e 7 dias. Por outro lado, na concentração de 20%, houve aumento da atividade de peroxidase após o quarto dia da inoculação, se mantendo nas demais avaliações. O mesmo comportamento observado na folha tratada também ocorreu na folha não tratada, reforçando o efeito sistêmico do extrato.

Estima-se, então, que a avaliação da atividade de peroxidase em períodos mais longos após a aplicação dos tratamentos poderia revelar diferenças não detectadas nas 72h avaliadas no presente trabalho, uma vez que a indução dessa enzima pode apresentar resposta um pouco mais tardia e dependente do tempo. É importante acrescentar que a indução de resistência pode se manifestar também por outras vias bioquímicas, indicando que a avaliação conjunta de outras enzimas relacionadas aos mecanismos de defesa vegetal seria necessária para uma compreensão mais abrangente do efeito dos tratamentos na indução de resistência.

3.3.1.2 Peroxidase em plântulas de feijão

Para a cultivar IPR-Curió, com inoculação, foi observada diferença estatística significativa entre os tratamentos (Tabela 3.6). Os maiores valores da atividade de peroxidase foram registrados para os extratos fúngicos de *T. asperellum*, *T. endophyticum*, *T. lentiforme* e *P. sanguineus*, que não diferiram estatisticamente entre si e diferiram do controle, que apresentou a menor média.

Na condição sem inoculação, ainda para a cultivar IPR-Curió (Tabela 3.6), também foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos. O maior valor de atividade de peroxidase foi verificado no tratamento com extrato de *T. asperellum*, que diferiu estatisticamente do fungicida Amistar Top®. No entanto, os tratamentos não diferiram do controle. Para a cultivar IPR-Uirapuru, com e sem inoculação, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

TABELA 3.6– Acúmulo de peroxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g⁻¹.pf), em plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) provenientes de sementes tratadas, das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, com e sem inoculação de *Pseudocercospora griseola*. Ponta Grossa – PR, 2024.

Tratamentos	IPR-Curió		IPR-Uirapuru	
	Com inoculação	Sem inoculação	Com inoculação	Sem inoculação
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	136,64a ¹	128,58a	136,02ns	108,54ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	136,68a	82,62ab	112,22	84,18
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	124,24a	80,08ab	107,46	139,44
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	129,52a	58,46ab	106,80	110,92
Extrato pirolenhoso	73,74c	64,18ab	135,08	94,42
AGROMOS®	62,68c	56,16ab	134,20	91,20
Produto de fermentação microbiana	66,58c	57,68ab	113,12	83,78
Bion®	77,44bc	84,26ab	122,56	118,58
Amistar Top®	114,94ab	45,72b	109,22	112,52
Controle	57,04c	87,02ab	119,78	127,68
Coefficiente de variação (%)	17,29	20,70	22,97	17,36

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo.

De forma geral, os resultados do presente estudo demonstram que o tratamento de sementes com *Trichoderma* foi capaz de influenciar a atividade de peroxidase em plântulas de feijão da cultivar IPR-Curió, na presença do patógeno. Resultados semelhantes puderam ser observados no estudo de Zhang; Xu; Gan (2019), no qual sementes de trigo (*Triticum aestivum* L.) foram tratadas com *Trichoderma longibrachiatum*. Esse fungo foi capaz de aumentar a atividade de peroxidases, indicando que a inoculação via sementes com essa espécie pode ativar o sistema antioxidante das plantas.

Em estudo sobre tratamento de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merr) com

diferentes isolados de *Trichoderma*, a inoculação pré-semeadura influenciou germinação, crescimento radicular e teores de fenólicos e flavonoides, mas a atividade de peroxidase nas plântulas não mostrou diferenças significativas em relação ao controle em nenhuma das combinações de isolados testadas, sugerindo resposta enzimática mínima com esse tipo de aplicação (Yusnawan; Inayati; Baliadi, 2019).

Dessa forma, estima-se que a inoculação de sementes com indutores de resistência pode gerar respostas bastante variáveis, com efeitos positivos, ou até mesmo ausentes. Essa variação pode ser atribuída, entre outros fatores, à espécie de planta, a cultivar, ao microrganismo ou produto utilizado e às condições de condução do experimento.

3.3.2 Polifenoloxidase

3.3.2.1 Polifenoloxidase em plantas de feijão

Para a atividade de polifenoloxidase em plantas da cultivar IPR-Curió, no experimento com inoculação de *P. griseola* (Tabela 3.7), nas avaliações de 24 horas após a aplicação dos tratamentos (24h DT) e 24 horas após a inoculação (24h DI), não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

TABELA 3.7 – Acúmulo de polifenoloxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\Delta\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$), em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) da cultivar IPR-Curió após a aplicação dos tratamentos e inoculação do fungo *Pseudocercospora griseola*, em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2025.

Tratamentos	24h AT	24h DT	24h DI	48h DI	72h DI
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	1,06	0,78ns	0,48ns	0,20c ¹	1,74a
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	0,76	0,70	1,18	0,62bc	1,04abc
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	0,62	0,54	1,02	0,82bc	1,06abc
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	0,64	0,72	0,62	1,04ab	0,78abc
Extrato pirolenhoso	0,56	0,72	0,90	1,20ab	0,80bc
AGROMOS®	0,34	0,94	1,44	2,00a	1,40ab
Produto de fermentação microbiana	0,36	0,96	1,44	1,50ab	0,78bc
Bion®	0,54	0,82	0,72	1,12ab	1,24abc
Amistar Top®	0,38	0,64	1,02	0,90ab	0,56c
Controle	0,50	0,68	0,82	1,36ab	1,08abc
Coefficiente de variação (%)	-	20,37	31,04	19,41	17,92

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo. AT: antes dos tratamentos; DT: depois dos tratamentos; DI: depois da inoculação.

Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,01)}$.

Na avaliação realizada em 48 horas após a inoculação (48h DI) (Tabela 3.7), por sua vez, o AGROMOS® apresentou o maior valor médio de atividade de polifenoloxidase, diferindo estatisticamente dos tratamentos com extratos de *T. asperellum*, *T. endophyticum* e *T.*

lentiforme. Os demais tratamentos, incluindo o controle, apresentaram valores intermediários, não diferindo estatisticamente do grupo de médias superior nem do inferior.

Em 72 horas após a inoculação (72h DI) (Tabela 3.7), também foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos. O maior acúmulo de peroxidase se deu no tratamento com *T. asperellum*, porém este não diferiu estatisticamente do controle.

Para a cultivar IPR-Uirapuru (Tabela 3.8), a avaliação realizada 24 horas após a aplicação dos tratamentos (24h DT), foi a única a apresentar diferenças estatísticas entre os tratamentos. No entanto, o controle apresentou um dos maiores valores médios de atividade de polifenoloxidase. De forma geral, os resultados indicam que a atividade de polifenoloxidase nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru apresentou baixas respostas aos tratamentos.

TABELA 3.8 – Acúmulo de polifenoloxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\Delta\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$), em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) da cultivar IPR-Uirapuru após a aplicação dos tratamentos e inoculação do fungo *Pseudocercospora griseola*, em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2025.

Tratamentos	24h AT	24h DT	24h DI	48h DI	72h DI
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	1,28	1,04abc ¹	1,22ns	0,92ns	1,36ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	1,32	1,44ab	1,26	1,56	1,38
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	1,82	1,58a	1,08	0,82	2,12
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	0,96	1,08abc	0,60	0,64	1,00
Extrato pirolenhoso	0,76	0,60c	0,60	1,38	1,00
AGROMOS®	0,74	0,68bc	0,54	1,34	0,94
Produto de fermentação microbiana	0,86	1,72a	0,56	0,96	0,84
Bion®	0,64	1,42ab	0,62	1,18	0,92
Amistar Top®	0,86	1,44ab	0,90	1,54	1,36
Controle	1,16	1,72a	0,74	1,38	1,14
Coeficiente de variação (%)	-	15,52	21,78	25,19	21,51

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo. AT: antes dos tratamentos; DT: depois dos tratamentos; DI: depois da inoculação. Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,01)}$.

Para as cultivares IPR-Curió (Tabela 3.9) e IPR-Uirapuru (Tabela 3.10), no experimento conduzido sem inoculação do patógeno, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos em nenhuma coleta realizada, demonstrando que os tratamentos não foram eficientes na ativação da polifenoloxidase.

Surekha *et al.* (2014), no entanto, observaram que o tratamento com *Trichoderma viride* em feijão-mungo (*Vigna mungo* (L.) Hepper)) infectado por *Fusarium oxysporum* e *Alternaria alternata* resultou em aumento da atividade de polifenoloxidase. O incremento de PPO ocorreu em conjunto com outras enzimas de defesa e maior acúmulo de compostos fenólicos, reforçando o papel do *Trichoderma* na indução de respostas metabólicas associadas à resistência vegetal.

TABELA 3.9– Acúmulo de polifenoloxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\Delta\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$), em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) da cultivar IPR-Curió após a aplicação dos tratamentos em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2025.

Tratamentos	24h AT	24h DT	48h DT	72h DT
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	1,38	0,52ns	1,22ns	0,88ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	0,86	0,66	1,62	1,06
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	1,44	0,94	0,80	1,22
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	1,34	1,08	1,22	0,84
Extrato pirolenhoso	1,02	0,68	1,14	0,96
AGROMOS®	1,46	1,04	1,54	0,62
Produto de fermentação microbiana	1,92	1,48	1,20	1,16
Bion®	1,56	1,26	0,90	1,44
Amistar Top®	0,62	0,94	1,62	1,24
Controle	0,52	1,28	1,86	1,80
Coefficiente de variação (%)	-	21,67	25,31	22,42

Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo. AT: antes dos tratamentos; DT: depois dos tratamentos. Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,1)}$.

TABELA 3.10 – Acúmulo de polifenoloxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\Delta\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$), em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) da cultivar IPR-Uirapuru após a aplicação dos tratamentos em cultivo protegido. Ponta Grossa – PR, 2025.

Tratamentos	24h AT	24h DT	48h DT	72h DT
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	0,92	1,36ns	1,44ns	1,30ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	0,62	1,56	1,82	1,06
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	1,30	1,04	1,48	1,58
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	1,36	1,88	1,72	1,06
Extrato pirolenhoso	1,28	1,46	1,36	1,44
AGROMOS®	1,46	1,68	1,70	1,82
Produto de fermentação microbiana	0,92	1,42	2,28	1,74
Bion®	1,42	1,48	1,78	1,06
Amistar Top®	0,88	1,72	1,98	1,32
Controle	1,32	1,42	1,88	1,40
Coefficiente de variação (%)	-	16,26	17,13	25,33

Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo pelo teste de Tukey, a 5% de significância. AT: antes dos tratamentos; DT: depois dos tratamentos. Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,1)}$.

A polifenoloxidase é uma enzima amplamente distribuída em plantas, fazendo parte da oxidação de fenóis e na ativação de respostas de defesa. Sua atividade varia entre tecidos, estádios de desenvolvimento e tipos de estímulo, o que explica respostas enzimáticas distintas em diferentes estudos. Por essa razão, a avaliação da polifenoloxidase pode exigir coletas em diferentes fases de desenvolvimento para mensurar mudanças na expressão dessa enzima (Mayer, 2006; Zhang, 2023).

3.3.2.2 Polifenoloxidase em plântulas de feijão

Para a cultivar IPR-Curió e IPR-Uirapuru, no experimento de tratamento de sementes e posterior inoculação, observaram-se diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Tabela 3.11). Já no experimento sem a inoculação do patógeno, não houve diferença entre os tratamentos da cultivar IPR-Uirapuru, diferenciando-se somente os tratamentos da cultivar IPR-

Curió. No entanto, observou-se que mais uma vez o tratamento controle esteve presente entre as maiores médias.

TABELA 3.11 – Acúmulo de polifenoloxidase, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco ($\Delta\text{ABS g}^{-1}.\text{pf}$), em plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) provenientes de sementes tratadas, das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru. Ponta Grossa – PR, 2025.

Tratamentos	IPR-Curió		IPR-Uirapuru	
	Com inoculação	Sem inoculação	Com inoculação	Sem inoculação
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	1,36ns	1,30ab ¹	2,08ns	1,14ns
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	0,76	0,68ab	1,60	1,18
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	1,34	0,70ab	1,44	0,88
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	1,16	0,48b	1,94	0,94
Extrato pirolenhoso	1,06	0,92ab	1,22	1,46
AGROMOS [®]	1,02	0,64ab	1,32	1,46
Produto de fermentação microbiana	0,80	0,48b	0,98	1,44
Bion [®]	1,26	1,46a	1,76	0,78
Amistar Top [®]	0,62	0,60ab	0,82	1,06
Controle	1,22	0,62ab	1,44	0,76
Coeficiente de variação (%)	19,96	19,93	19,91	25,85

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo.

Dados originais, para análise os dados foram transformados em $\sqrt{(x + 0,1)}$.

Os resultados indicam que a polifenoloxidase em plântulas não atuou como marcador efetivo da indução de resistência para a presente pesquisa. Em soja, no entanto, o tratamento de sementes com *Trichoderma harzianum* e *T. viride*, isolados ou em combinação, resultou em aumento da atividade de polifenoloxidase nas folhas. As avaliações foram realizadas aos 14, 28 e 42 dias após a semeadura, com pico de polifenoloxidase aos 28 dias (Intisar; Iqbal; Sahi, 2021).

Em estudo com ervilha (*Pisum sativum* L.) afetada por murcha vascular (*Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*), a atividade de polifenoloxidase variou entre cultivares e tratamentos, sendo maior na cultivar French do que na Holland. O tratamento com *T. harzianum* promoveu os maiores valores de polifenoloxidase, diferindo dos demais tratamentos (Al-Mallah; Al-Ameri, 2024).

Os resultados indicam que a resposta da polifenoloxidase depende tanto dos tratamentos e agentes indutores quanto dos genótipos. De modo geral, a atividade de polifenoloxidase apresenta alta variação, também influenciada pelo estágio de desenvolvimento no momento da coleta, o que sugere que os tratamentos devem ser acompanhados por períodos mais longos para permitir a observação de possível expressão enzimática mais tardia.

3.3.3 Fitoalexina Faseolina

Para ambas as cultivares, IPR-Curió e IPR-Uirapuru, com inoculação do patógeno, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos avaliados para indução de fitoalexina faseolina em hipocótilos de feijão (Tabela 3.12).

Sem inoculação do patógeno, para a cultivar IPR-Curió, também não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Tabela 3.12). Para a cultivar IPR-Uirapuru, por sua vez, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. O extrato de *T. lentiforme* apresentou o maior valor médio de faseolina, diferindo estatisticamente do Bion®. No entanto, os tratamentos indutores utilizados não diferiram do controle.

De forma geral, os resultados indicam que o acúmulo de fitoalexina faseolina em hipocótilos de feijão não foi influenciado pelos tratamentos. Peiter-Beninca *et al.* (2008), avaliando a aplicação de extratos de basidiocarpos de *P. sanguineus* em sorgo e soja, observaram que os tratamentos foram capazes de induzir o acúmulo de fitoalexinas nos mesocótilos de sorgo. Para soja, no entanto, semelhante à presente pesquisa, *P. sanguineus* não teve atividade indutora de fitoalexina nos cotilédones de soja tratados.

TABELA 3.12 – Acúmulo de fitoalexina faseolina, expresso em unidades de absorbância por grama de peso fresco (ABS g⁻¹.pf), em hipocótilos de feijão (*Phaseolus vulgaris*) provenientes de sementes tratadas, das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru. Ponta Grossa – PR, 2025.

Tratamentos	IPR-Curió		IPR-Uirapuru	
	Com inoculação	Sem inoculação	Com inoculação	Sem inoculação
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	1,04ns	1,37ns	1,76ns	1,48ab ¹
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	1,12	2,08	1,38	1,21ab
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	1,11	1,68	1,51	2,48a
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	1,07	1,79	1,84	1,95ab
Extrato pirolenhoso	1,03	2,05	1,40	1,48ab
AGROMOS®	1,29	1,84	1,92	1,12ab
Produto de fermentação microbiana	1,38	2,19	1,88	1,01ab
Bion®	1,28	2,24	1,58	0,98b
Amistar Top®	1,30	1,45	1,70	1,34ab
Controle	0,87	1,76	1,18	1,39ab
Coeficiente de variação (%)	14,27	16,98	12,89	15,78

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo.

Dados originais, para análise foram transformados em $\sqrt{(x + 0,5)}$.

Em pesquisa avaliando a indução de fitoalexinas por suspensões de fungos endofíticos em sorgo, soja e feijão, Pittner *et al.* (2018), por sua vez, observaram que diferentes isolados foram capazes de estimular o acúmulo desses metabólitos nos tecidos vegetais. Os tratamentos consistiram na aplicação de suspensões fúngicas diretamente em mesocótilos de sorgo, cotilédones de soja e hipocótilos de feijão, com posterior quantificação das fitoalexinas. No

feijão, os tratamentos com suspensões de fungos endofíticos induziram acúmulo de faseolina, com valores até 50% superiores ao controle nos tratamentos mais eficientes.

A ausência de indução de faseolina pelos tratamentos pode estar associada à elevada especificidade dessa fitoalexina, que depende do tipo de elicitor e da intensidade do estímulo aplicado ao tecido para expressar. Dessa forma, pesquisas futuras podem ser conduzidas com diferentes concentrações dos produtos e com a inclusão de outros genótipos, a fim de ampliar a avaliação da efetividade dos tratamentos e verificar a expressão de fitoalexina faseolina.

3.4 CONCLUSÕES

Os produtos alternativos aplicados via foliar não foram eficientes na indução de peroxidase e polifenoloxidase plantas de feijão.

O tratamento de sementes com *Trichoderma* spp. apresentou efeito sobre a atividade da peroxidase em plântulas da cultivar IPR-Curió na presença do patógeno, demonstrando potencial de resposta a depender do genótipo e da forma de aplicação.

De modo geral, a atividade de peroxidase, polifenoloxidase e a produção da fitoalexina faseolina não foram significativamente influenciadas pelos tratamentos, pela inoculação do patógeno ou pelo método de aplicação. Assim, sugere-se que estudos futuros avaliem diferentes enzimas, estágios fenológicos, genótipos e concentrações dos produtos, a fim de melhor avaliar a efetividade dos tratamentos testados.

REFERÊNCIAS

- ADAPAR. Amistar Top® 400. **Bula**. Curitiba, 2022. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2023-04/amistartop.pdf. Acesso em: 27 set. 2023.
- ADAPAR. Bion® 500 WG. **Bula**. Curitiba, 2022. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2022-08/bion500wg.pdf. Acesso em: 27 set. 2023.
- ALLTECH. Agro-Mos®. **Safety Data Sheet**, v. 57, n. 78, 2012. Disponível em: <https://www.alltech.com/sites/default/files/2020-12/SDS%20Agro-Mos%200416DB.PDF>. Acesso em: 03 mai. 2023.
- AL-MALLAH, E. A.; AL-AMERI, H. A. Impact of *Trichoderma harzianum* on peroxidase and polyphenol oxidase activities in *Pisum sativum* varieties affected by vascular wilt. **Malaysian Journal of Microbiology**, v. 20, p. 6, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.21161/mjm.240002>. Acesso em: 02 jan.2026.
- ASEEL, D. G.; SOLIMAN, S. A.; AL-ASKAR, A. A.; ELKELISH, A.; ELBEAINO, T.; ABDELKHALEK, A. *Trichoderma viride* isolate Tvd44 enhances potato growth and stimulates the defense system against Potato virus Y. **Horticulturae**, v. 9, n. 6, p. 716, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9060716>. Acesso em: 06 jan. 2026.
- BRITO, O. D. C.; SCHONS, B. C.; CECATTO JUNIOR, R.; DALEVEDOVE, D. B.; FUJIMOTO, J. Y. H.; STANGARLIN, J. R. Proteins of *Pycnoporus sanguineus* have nematocidal activity and induce resistance to *Meloidogyne* spp. in Micro-Tom tomato plants. **Tropical Plant Pathology**, v. 50, art. 43, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-025-00729-w>. Acesso em: 04 jan. 2026.
- CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTI, E. A.; GODOY, C. V. SASM-Agri: sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, Ponta Grossa, v. 1, n. 2, p. 18-24, dez., 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/512901/1/SASMAGRI.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2023.
- DIXON, R. A.; DEY, M.; LAWTON, M. A.; LAMB, C. J. Phytoalexin induction in French bean: intercellular transmission of elicitation in cell suspension cultures and hypocotyl sections of *Phaseolus vulgaris*. **Plant Physiology**, v. 71, n. 2, p. 251–256, fev., 1983. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16662813/>. Acesso em: 30 nov. 2022.
- DOMENE, S.; GHEDINI, N. S. R. V.; STELUTI, J. Importância nutricional do arroz e do feijão. In: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (org). **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**, Brasília, DF. EMBRAPA, 2021, p. 147-163. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Ferreira-10/publication/354587015_Arroz_e_feijao_tradicao_e_seguranca_alimentar/links/6141166d578238365b0b1669/Arroz-e-feijao-tradicao-e-seguranca-alimentar.pdf#page=148. Acesso em: 03 jan. 2025.

DUANGMAIL, K.; APENTEN, R. K. O. A comparative study of polyphenoloxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). **Food Chemistry**, London, v. 64, p. 351-359, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814698001277>. Acesso em: 30 nov. 2022.

EPB – Extrato Pirolenhoso do Brasil. **Extrato Pirolenhoso®**, 2023. Disponível em: <https://extratopirolenhosodobrasil.com/epb/>. Acesso em: 27 set. 2023.

FIALHO, M. B. Efeito *in vitro* de *Saccharomces cerevisiae* sobre *Guignardia citricarpa*, agente causal de pinta preta dos citros. 60 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11138/tde-25042005-154547/pt-br.php>. Acesso em: 30 nov. 2022.

FIGUEIREDO, F. R. A.; FREIRES, A. L. A.; SILVA, I. V. P.; BARROSO, K. A.; ALVES, T. R. C.; NOGUEIRA, G. A.; MELO, N. J. A.; SALES JÚNIOR, R.; NEGREIROS, A. M. P.; AMBRÓSIO, M. M. Q. Resistance inducers increase melon defenses against root rot. **Journal of Plant Pathology**, v. 105, p. 1065-1075, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42161-023-01442-w>. Acesso em: 03 jan. 2025.

FREIRES, A. L. A.; FIGUEIREDO, F. R. A.; ALVES, T. R. C.; BARROSO, K. A.; SILVA, I. V. P.; SILVA, J. L. S.; NOGUEIRA, G. A.; MELO, N. J. A.; SALES JÚNIOR, R.; NEGREIROS, A. M. P.; AMBRÓSIO, M. M. Q. Alternative products in the management of powdery mildew (*Podosphaera xanthii*) in melon. **Tropical Plant Pathology**, v. 47, p. 608–617, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-022-00518-9>. Acesso em: 04 jan. 2026.

HAMMERSCHMIDT, R. Induced disease resistance: how do induced plants stop pathogens? **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 55, p. 77–84, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/pmpp.1999.0215>. Acesso em: 06/01/2026.

INTISAR, A.; IQBAL, Z.; SAHI, S. T. Impact of seed treatments with fungal biocontrol agents on enzymatic activities and phenolic content of soybean under greenhouse and field conditions. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 26, n. 2, p. 294–302, 2021. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/epdf/10.5555/20210353245>. Acesso em: 08 jan. 2026.

LOCATELI, B. T. Elicitores químicos e biológicos na indução de resistência em plantas de soja e pepino. 70p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2677/1/DV_PPGSIS_M_Locateli%2C%20Bruna%20Ta%C3%ADza_2017.pdf. Acesso em: 07 jan. 2025.

LUSSO, M. F. G.; PASCHOLATI, S. F. Activity and isoenzymatic pattern of soluble peroxidases in maize tissues after mechanical injury or fungal inoculation. **Summa Phytopathologica**, Campinas, v. 25, p. 244-249, jul./set., 1999.

MAYER, A. M. Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review. **Phytochemistry**, v. 67, p. 2318–2331, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.08.006>. Acesso em: 02 jan. 2026.

PEITER-BENINCA, C.; FRANZENER, G.; ASSI, L.; LURVIK, J.; ECKSTEIN, B.; COSTA, V. C.; NOGUEIRA, M. A.; STANGARLIN, J. R.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Indução de fitoalexinas e atividade de peroxidases em sorgo e soja tratados com extratos de basidiocarpos de *Pycnoporus sanguineus*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 75, n. 3, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657v75p2852008>. Acesso em: 02 jan. 2026.

PHILIP, B.; BEHIY, D. I.; SALEM, M. Z. M.; AMER, M. A.; EL-SAMRA, I. A.; ABDELKHALEK, A.; HEFLISH, A. *Trichoderma afroharzianum* TRI07 metabolites inhibit *Alternaria alternata* growth and induce tomato defense-related enzymes. **Scientific Reports**, v. 14, art. 1874, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-52301-2>. Acesso em: 04 jan. 2026.

PITTNER, E.; MAREK, J.; BORTULI, D.; KNOB, A.; SANTOS, L. A.; FARIA, C. M. D. R. Induction of phytoalexins in sorghum, soybean and beans by suspension of endophytic fungi. **Publicações Biológicas**, v. 24, n. 1, p. 7–12, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5212/Publ.Biologicas.v.24i1.0001>. Acesso em: 04 jan. 2026.

SOLINO, A. J. S.; SCHWAN-ESTRADA, K. R.; OLIVEIRA, J. S. B.; RIBEIRO, L. M.; SAAB, M. F. Accumulation of phytoalexins in beans, soybeans and sorghum by fungal filtrates. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 4, p. 1073-1078, out./dez., 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n429rc>. Acesso em: 02 fev. 2023.

SCHULMAN, P.; RIBEIRO, T. H. C.; FOKAR, M.; CHALFUN-JUNIOR, A.; LALLY, R. D.; PARÉ, P. W.; MEDEIROS, F. H. V. A microbial fermentation product induces defense-related transcriptional changes and the accumulation of phenolic compounds in *Glycine max*. **Phytopathology**, v. 112, p. 1760–1765, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-21-0227-R>. Acesso em: 04 jan. 2026.

STANGARLIN, J. R.; VIECELLI, C. A.; KUHN, O. J.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; ASSI, L.; PORTZ, R. L.; MEINERZ, C. C. Plant defense enzymes activated in bean plants by aqueous extract from *Pycnoporus sanguineus* fruiting body. In: DHAL, N. K.; SAHU, S. C. (Eds.). **Plant Science**. Rijeka: InTech, 2012. cap. 6. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/50686>. Acesso em: 04 jan. 2026.

SUÁREZ, D. F. P.; ALTHOFF, B. D. M. C.; FONSECA, J. D. A. V.; DI PIERO, R. M. Induction of resistance in bell pepper by *Saccharomyces cerevisiae* and acibenzolar-S-methyl: activation of defense mechanisms, antioxidant enzymes, and accumulation of photosynthetic pigments. **Biocontrol Science and Technology**, v. 35, n. 9, p. 1026–1045, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09583157.2025.2537095>. Acesso em: 04 jan. 2026.

SUREKHA, C.; NEELAPU, N. R. R.; PRASAD, B. S.; GANESH, P. S. Induction of defense enzymes and phenolic content by *Trichoderma viride* in *Vigna mungo* infested with *Fusarium oxysporum* and *Alternaria alternata*. **International Journal of Agricultural Science and Research**, v. 4, n. 4, p. 31–40, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TOILLIER, S. L.; IURKIV, L.; MEINERZ, C. C.; BALDO, M.; VIECELLI, C. A.; KUHN, O. J.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. E.; STANGARLIN, J. R. Controle de cretamento bacteriano comum (*Xanthomona axonopodis* pv. *phaseoli*) e alterações bioquímicas em feijoeiro induzidas por *Pycnopus sanguineus*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, p. 99-110, jan./mar., 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1808-1657v77p0992010>. Acesso em: 14 set. 2023.

UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 34, n. 1, p. 68-71, fev. 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02981341>. Acesso em: 02 fev. 2023.

VAN LOON, L. C.; REP, M.; PIETERSE, C. M. J. Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. **Annual Review of Phytopathology**, v. 44, p. 135–162, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143425>. Acesso em: 06 jan. 2026.

YUSNAWAN, E.; INAYATI, A.; BALIADI, Y. Effect of soybean seed treatment with *Trichoderma virens* on its growth and total phenolic content. **AIP Conference Proceedings**, v. 2120, art. 020003, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1063/1.5115604>. Acesso em: 06 jan. 2026.

ZHANG, S. Recent advances of polyphenol oxidases in plants. **Molecules**, v. 28, n. 5, art. 2158, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules28052158>. Acesso em: 02 jan. 2026.

ZHANG, S.; XU, B.; GAN, Y. Seed treatment with *Trichoderma longibrachiatum* T6 promotes wheat seedling growth under NaCl stress through activating the enzymatic and nonenzymatic antioxidant defense systems. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 15, p. 3729, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms20153729>. Acesso em: 07 jan. 2026.

CAPÍTULO 4 – PERFIL METABÓLICO DE PLÂNTULAS DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris*) SUBMETIDAS AO TRATAMENTO DE SEMENTES COM PRODUTOS ALTERNATIVOS

RESUMO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de relevância socioeconômica no Brasil, cuja produtividade pode ser comprometida por doenças, como a mancha angular (*Pseudocercospora griseola* (Sacc.) Crous & U. Braun). Com a necessidade de estratégias de manejo de doenças mais sustentáveis, a indução de resistência por meio de produtos alternativos, aplicada via tratamento de sementes, destaca-se por possibilitar a ativação precoce de mecanismos de defesa vegetal. O trabalho teve como objetivo avaliar alterações metabólicas em plântulas de feijão submetidas ao tratamento de sementes com diferentes produtos alternativos e indutores de resistência, por meio da caracterização fitoquímica utilizando cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS). As análises foram conduzidas em plântulas derivadas de sementes tratadas de duas cultivares de feijão, IPR-Curió e IPR-Uirapuru, com os tratamentos: extratos de *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma endophyticum*, *Trichoderma lentiforme* e *Pycnoporus sanguineus*, extrato pirolenhoso, AGROMOS[®], produto de fermentação microbiana, indutor de resistência Bion[®], fungicida azoxistrobina + ciproconazol (AMISTAR TOP[®]) e a testemunha (água destilada e esterilizada). Foram identificadas diferentes classes de compostos, como: ácidos graxos saturados e insaturados, lipídios, esteróis, terpenoides, aminoácidos e carboidratos. Os resultados indicaram respostas metabólicas distintas entre as cultivares, com maior sensibilidade da cultivar IPR-Uirapuru às variações induzidas pelos tratamentos, especialmente em relação aos ácidos graxos insaturados e ao índice de insaturação lipídica. Enquanto os ácidos graxos saturados apresentaram perfil mais estável, os insaturados demonstraram maior amplitude de resposta, sugerindo ajustes na composição lipídica das plântulas. Análises descritivas demonstram diferentes concentrações de esteróis, terpenoides e aminoácidos totais entre os tratamentos. De forma geral, os resultados demonstram que o tratamento de sementes com produtos alternativos promoveu ajustes metabólicos em plântulas de feijão, compatíveis com a ativação de mecanismos associados à indução de resistência.

Palavras-chave: indução de resistência; GC-MS; metabolismo vegetal; *Pycnoporus sanguineus*; *Trichoderma* spp.

CHAPTER 4 – METABOLIC PROFILE OF COMMON BEAN SEEDLINGS (*Phaseolus vulgaris* L.) SUBJECTED TO SEED TREATMENT WITH ALTERNATIVE PRODUCTS

ABSTRACT

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a crop of high socioeconomic relevance in Brazil, whose productivity can be compromised by diseases such as angular leaf spot, caused by *Pseudocercospora griseola*. Given the need for more sustainable disease management strategies, resistance induction through alternative products applied via seed treatment has emerged as a promising approach, as it enables the early activation of plant defense mechanisms. This study aimed to evaluate metabolic changes in bean seedlings subjected to seed treatment with different alternative products and resistance inducers through phytochemical characterization using gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC–MS). The analyses were performed on seedlings derived from treated seeds of two bean cultivars, IPR Curió and IPR Uirapuru, using the following treatments: extracts of *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma endophyticum*, *Trichoderma lentiforme* and *Pycnoporus sanguineus*, pyroligneous extract, AGROMOS[®], a microbial fermentation product, the resistance inducer Bion[®], the fungicide azoxystrobin + cyproconazole (AMISTAR TOP[®]), and a control treatment (distilled and sterilized water). Different classes of compounds were identified, including saturated and unsaturated fatty acids, lipids, sterols, terpenoids, amino acids, and carbohydrates. The results indicated distinct metabolic responses between the cultivars, with greater sensitivity of the cultivar IPR Uirapuru to treatment-induced variations, especially regarding unsaturated fatty acids and the lipid unsaturation index. While saturated fatty acids exhibited a more stable profile, unsaturated fatty acids showed a wider range of responses, suggesting adjustments in the lipid composition of the seedlings. Descriptive analyses showed different concentrations of sterols, terpenoids, and total amino acids among treatments. Overall, the results demonstrate that seed treatment with alternative products promoted metabolic adjustments in common bean seedlings, consistent with the activation of mechanisms associated with resistance induction.

Keywords: resistance induction; GC–MS; plant metabolism; *Pycnoporus sanguineus*; *Trichoderma* spp.

4.1 INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de relevância socioeconômica no Brasil, destacando-se como fonte essencial de proteínas e carboidratos na dieta da população brasileira (Ferreira, 2023). Com grande adaptabilidade edafoclimática e agronômica, tem presença em diversos sistemas de cultivo em âmbito nacional. No entanto, a produtividade da cultura enfrenta desafios relacionados à fatores abióticos e bióticos, sendo as doenças fúngicas, como a mancha angular (*Pseudocercospora griseola*), um dos principais problemas de ordem fitopatológica (Garcia; Romeiro, 2011).

A mancha angular pode ocasionar danos expressivos no rendimento da cultura do feijão, sobretudo quando associada a condições ambientais favoráveis e à utilização de

cultivares suscetíveis. Tradicionalmente, o manejo da doença tem sido baseado no uso de fungicidas químicos, estratégia que, embora eficiente a curto prazo, levanta preocupações relacionadas à seleção de populações resistentes do patógeno, à fitotoxicidade e aos impactos ambientais decorrentes do uso recorrente e inadequado desses produtos (Casado *et al.*, 2018).

Nesse contexto, a indução de resistência surge como uma alternativa ao manejo de doenças na cultura do feijão. Este processo envolve a ativação das defesas naturais das plantas, mediada pelo uso de substâncias exógenas, denominadas elicitores. Esses elicitores podem ser de origem biótica ou abiótica e atuam modulando vias metabólicas relacionadas à defesa, sem exercer pressão seletiva direta sobre o patógeno (Díaz-Valle, López-Calleja, Alvarez-Venegas, 2019).

A indução de resistência está associada a um conjunto de alterações bioquímicas e fisiológicas, que incluem o aumento da atividade de enzimas relacionadas à defesa, o acúmulo de compostos fenólicos e o rearranjo de metabólitos do metabolismo primário e secundário das plantas. Tais respostas contribuem para a formação de um estado de preparo fisiológico, conhecido como *priming*, no qual a planta se encontra metabolicamente ajustada para responder de forma mais rápida e eficiente à infecção por patógenos (Chalker-Scott, Fuchigami, 2018; Kulbat, 2016).

Diversos produtos têm sido investigados como potenciais indutores de resistência em plantas, incluindo metabólitos de fungos, produtos de fermentação microbiana, compostos orgânicos de origem vegetal e substâncias minerais (Machado *et al.*, 2022; Secretaria *et al.*, 2025; Van Hee *et al.*, 2025). Entre as diferentes formas de aplicação desses produtos, o tratamento de sementes destaca-se como uma estratégia eficiente e agronomicamente vantajosa, uma vez que permite a exposição precoce da planta aos elicitores, ainda nas fases iniciais de germinação e emergência, momento em que ajustes metabólicos podem exercer influência duradoura sobre o desenvolvimento e a resposta a estresses bióticos (Bhavanam; Stout, 2021; Paulikienė *et al.*, 2025).

Extratos fúngicos derivados de espécies dos gêneros *Trichoderma* e *Pycnoporus*, são amplamente reconhecidos por sua capacidade de ativar respostas de defesa vegetal (Risoli *et al.*, 2022; Taibi *et al.*, 2022). De forma semelhante, produtos como o extrato pirolenhoso e fertilizantes à base de mananoligossacarídeos têm sido associados à ativação de respostas metabólicas relacionadas à resistência sistêmica adquirida (Zhou *et al.*, 2024a).

Quando aplicados via tratamento de sementes, os indutores de resistência podem desencadear respostas defensivas precoces, promovendo ajustes metabólicos já nas fases iniciais do desenvolvimento das plântulas. A ativação dessas respostas defensivas está ligada a

modificações no metabolismo vegetal, que desencadeiam alterações quantitativas e qualitativas de diferentes classes de compostos (Singh *et al.*, 2020). Entre os metabólitos frequentemente associados à defesa destacam-se os ácidos graxos, os lipídios complexos, os esteróis, os terpenoides e determinados aminoácidos (Chowdhary; Tank, 2023).

Ácidos graxos saturados e insaturados participam da organização e da fluidez das membranas celulares, influenciando processos de sinalização e a integridade estrutural das células. Em particular, variações na proporção entre ácidos graxos insaturados e saturados têm sido relacionadas à adaptação das plantas a condições de estresse e à ativação de respostas de defesa (Kachroo; Kachroo, 2009; Xiao *et al.*, 2022).

Os lipídios fazem parte da mobilização de reservas durante as fases iniciais do desenvolvimento das plantas, além de participarem indiretamente de rotas de sinalização associadas à defesa. O glicerol e seus intermediários metabólicos, por sua vez, têm sido descritos como componentes relevantes em vias relacionadas à resistência sistêmica adquirida, reforçando a importância da avaliação desses compostos em estudos que investigam a indução de resistência (Kim, 2020; Liang *et al.*, 2023).

Os esteróis vegetais, como campesterol, estigmasterol e β -sitosterol, fazem parte de componentes estruturais das membranas celulares e atuam na sua permeabilidade. Algumas alterações no perfil destes esteróis são, por vezes, associadas a processos de reorganização de membranas por conta da ativação de mecanismos de defesa durante infecções por patógenos (Griebel; Zeier, 2010; Valitova; Sulkarnayeva; Minibayeva, 2016). De forma complementar, os terpenoides representam uma das classes mais diversas de metabólitos secundários em plantas, incluindo compostos com funções antioxidantes, estruturais e sinalizadoras, frequentemente relacionados à proteção contra estresses bióticos e abióticos (Thimmappa *et al.*, 2014).

Os aminoácidos, embora tradicionalmente associados ao metabolismo primário, também desempenham funções estratégicas em respostas de defesa vegetal. Além de atuarem como precursores de metabólitos secundários, alguns aminoácidos estão diretamente envolvidos em processos de sinalização e no ajuste metabólico que caracteriza o estado de *priming* (Cai; Aharoni, 2022; Decsi *et al.*, 2024).

Para avaliar as mudanças metabólicas induzidas por elicitores de indução de resistência, pode-se fazer uso de análises cromatográficas. Técnicas como cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GCMS) oferecem alta sensibilidade e especificidade na identificação e quantificação de compostos orgânicos, incluindo metabólitos secundários. Essas metodologias permitem a detecção de compostos em concentrações mínimas, fornecendo

informações detalhadas sobre alterações no perfil químico das plantas e sua relação com os mecanismos de defesa (Aldana-Mejía et al., 2021; Stoenescu, Trandafir, Cosmulescu, 2022).

Com este contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar o efeito de diferentes indutores de resistência em plantas de feijão, com foco na identificação de compostos provenientes de alterações metabólicas relacionadas à defesa vegetal.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

As metodologias descritas a seguir foram parte realizadas em condições laboratoriais e de casa de vegetação na Universidade Estadual de Ponta Grossa (25°5'22" S; 50°6'9" W). Os materiais obtidos foram então encaminhados para a Universidade de Aveiro (Aveiro-Portugal (40°37'46"N 8°39'22"W) para a continuação dos experimentos nos Departamentos de Biologia e Química.

4.2.1 Análise de Compostos de Plantas de Feijão

Com o objetivo de comprovar a indução de resistência proporcionada pelos produtos, foram realizadas análises cromatográficas dos compostos produzidos pelas plantas tratadas. Para tanto, nas dependências da Universidade Estadual de Ponta Grossa, em um montante de 50 sementes, foram aplicados 10 mL de calda contendo o respectivo tratamento (Tabela 4.1) dissolvido em água, exceto na testemunha, na qual foi aplicada apenas água destilada.

TABELA 4.1– Tratamentos e suas respectivas concentrações, utilizados em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) submetidas à cromatografia gasosa. Ponta Grossa/PR, 2025.

Tratamento	Concentração
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	25% v/v
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	25% v/v
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	25% v/v
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	25% v/v
Extrato pirolenhoso ¹	5 mL L ⁻¹
AGROMOS ^{®2}	3 mL L ⁻¹
Produto de fermentação microbiana	2,5 mL L ⁻¹
Bion ^{®3}	0,125 g L ⁻¹
AMISTAR TOP ^{®4}	0,625 mL L ⁻¹
Água destilada e esterilizada (Controle negativo)	-

Fonte: a autora.

Notas: Volume de aplicação considerado: 200 L ha⁻¹. ¹EPB Brasil (2022); ²ALLTECH (2012) ³ADAPAR (2022); ⁴ADAPAR (2021).

As sementes de feijão das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru tratadas foram semeadas em bandejas contendo substrato e mantidas em casa de vegetação para germinação e

emergência. Houve o desbaste de plântulas excedentes aos cinco dias após a emergência, permanecendo as mais vigorosas e sem sinais de danos.

As coletas das plântulas foram realizadas aos 7 dias após a emergência. As plântulas foram destacadas, acondicionadas em embalagem de papel, identificadas e submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçada a 40°C por 96 horas. Após a secagem, as folhas foram parcialmente moídas e acondicionadas em embalagens plásticas lacradas para envio à Universidade de Aveiro.

O experimento teve delineamento em blocos casualizados, com 10 tratamentos e 3 repetições. Cada tratamento consistiu em um grupo de 20 plântulas, enquanto cada réplica foi estabelecida após o preparo dos extratos para as análises cromatográficas em GCMS (Item 4.2.1.1).

4.2.1.1 Preparo dos extratos para análises cromatográficas

Assim que recebidas em Portugal, as amostras foram encaminhadas ao Departamento de Química e moídas até obter um pó fino, com auxílio de um moedor elétrico doméstico (Kunft KCG5414). Após a moagem, realizou-se a pesagem de 2,5 g do pó de plantas de cada tratamento e sua transferência para erlenmeyers de vidro identificados, juntamente com uma cápsula de agitação magnética.

Para a realização das análises cromatográficas, utilizaram-se os extratos obtidos a partir do pó de plantas moído. Na primeira fase de extração, utilizaram-se 40 mL de n-hexano, adicionados em cada erlenmeyer contendo os 2,5 g de pó de plantas e a cápsula de agitação. Os frascos foram então vedados com folha de alumínio e filme plástico (Parafilm) para evitar a evaporação do solvente.

Os erlenmeyers foram em seguida distribuídos sobre uma placa de agitação magnética regulada a 220 rpm (rotações por minuto) e cobertos com folha de alumínio, para evitar a exposição à luz. Após 24h, desligou-se a agitação e aguardaram-se 20 minutos para a decantação da biomassa das plantas.

O sobrenadante obtido foi então filtrado em algodão, transferido para um balão de vidro de fundo redondo, que em seguida foi acoplado a um evaporador rotativo. O frasco manteve-se em banho de aquecimento a 40°C, em rotação, até a ebulição do solvente e sua evaporação para o sistema. Após a evaporação, o extrato manteve-se armazenado no balão vedado com papel toalha, para completa secagem do solvente.

Nos erlenmeyers já sem o solvente, acrescentaram-se 40 mL de n-hexano e em sequência foram vedados novamente e colocados para agitação por mais 24h na placa

magnética. Após 24h, repetiu-se o processo de filtração do sobrenadante e de evaporação e acrescentaram-se mais 40 mL de n-hexano, para um terceiro ciclo de extração de mais 24h. Ao fim do terceiro ciclo, os processos já citados foram repetidos e a biomassa nos erlenmeyers foi reservada ao abrigo da luz por 48h.

Ao fim dos três ciclos de extração com n-hexano, os extratos obtidos após a completa secagem do solvente foram transferidos para porta-amostras de vidro, pesados e identificados. Os frascos porta-amostras foram então mantidos no escuro até o uso dos extratos para a preparação das análises de cromatografia gasosa (Item 2.1.2).

4.2.1.2 Análise por cromatografia gasosa

Foi realizada a derivatização por sililação das moléculas presentes nos extratos de planta obtidos com a extração por n-hexano, de forma aumentar a sua volatilidade e melhorar a sensibilidade da análise por GCMS.

Para tanto, em um tubo de vidro com tampa de rosca, 3 réplicas de 10 mg do extrato de cada tratamento, foram misturados com 125 μ L de piridina, 125 μ L de BSTFA, 25 μ L de TMSCl, 250 μ L da solução padrão interna - PI (hexatriacontane 1 mg mL⁻¹) e diclorometano até completar o volume final de 1 mL. Os tubos contendo a mistura da reação foram então colocados em banho de aquecimento a 70°C por 30 min.

Após a incubação da mistura pelo tempo pretendido, retiraram-se os tubos do banho e dispuseram-nos em uma rack por 15 minutos para o arrefecimento. Posteriormente, a mistura foi filtrada por um filtro de nylon de 0,45 μ m (Membrane Solutions®) e armazenada em *vials* de vidro âmbar, com tampa.

Em seguida, as amostras foram injetadas no equipamento de Cromatografia Gasosa e Espectrometria de Massas – GCMS QP2010 Ultra Shimadzu® com coluna capilar SH-Rxi-5Sil MS (comprimento 30,0m; diâmetro 0,25mm; espessura 0,2 μ m). A temperatura utilizada durante a injeção da amostra foi ajustada para 320°C, enquanto a temperatura da linha de transferência foi ajustada para 300°C.

As amostras foram injetadas com uma relação de divisão de 1:10. O gás hélio foi utilizado como gás transportador, tendo fluxo de 1,17 mL min⁻¹. Durante o processo de leitura, a temperatura da coluna foi mantida a 90°C por 4 min e, em seguida, aumentada 16°C por minuto até 180°C, seguida por um aumento de 6°C por minuto até 250°C, e 3°C por minuto até 300°C que foi mantida por 5 min, totalizando 42,96 min.

O espectrômetro de massas foi operado no modo de impacto eletrônico (EI) com uma energia de 0,1 kV e os dados foram coletados a uma taxa de uma varredura por segundo, no intervalo de m/z 50-1000.

A identificação dos compostos das amostras foi realizada através da comparação entre as visualizações obtidas e as entradas da biblioteca do banco de dados de espectros de massas (NIST14 Mass spectral e WILEY RegistryTM of Mass Spectra Data).

4.2.2 Análise Estatística

Nas análises por GCMS foi utilizado o método do padrão interno para a quantificação dos compostos identificados. Nesse, a área do pico de cada substância presente em cada réplica (três réplicas por tratamento, cada uma analisada duas vezes, totalizando seis leituras) foi correlacionada com a área do pico do padrão interno, cuja concentração é conhecida (250 μL de PI – hexatriacontane 1 mg mL^{-1}).

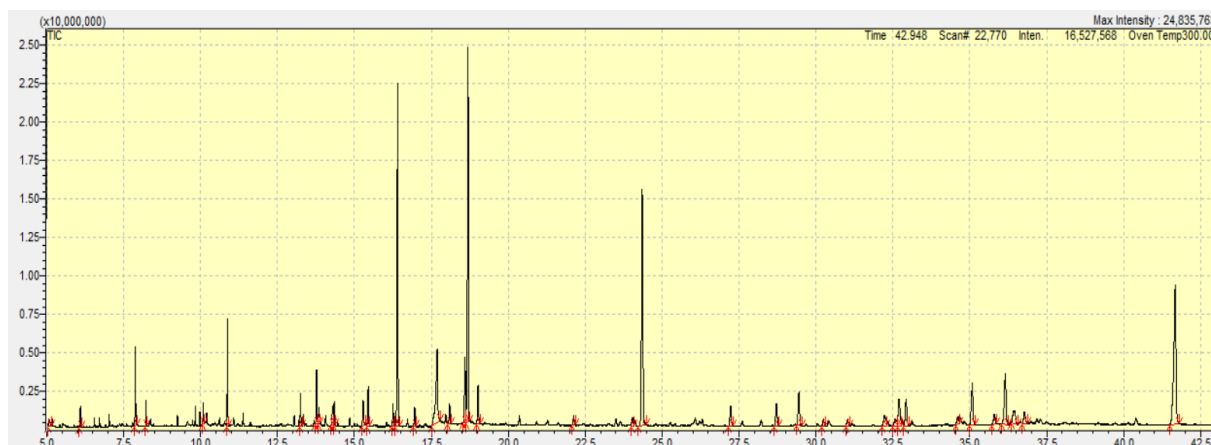
Para a construção das curvas de calibração, foram preparadas soluções padrão contendo concentrações conhecidas dos compostos de interesse, às quais foi adicionado um padrão interno em concentração constante. A resposta analítica foi expressa pela razão entre a área do pico do composto e a área do pico do padrão interno, em função da concentração conhecida do composto. As curvas de calibração foram ajustadas por regressão linear e a escolha dos padrões e suas concentrações foram determinadas de forma a garantir a quantificação de pelo menos um representante de cada grupo químico observado nas amostras.

Após a determinação dos compostos obtidos em GCMS e suas respectivas concentrações, foram comparadas suas concentrações entre os tratamentos, a fim de verificar a influência dos mesmos na composição das plântulas. Todos os resultados encontrados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, com o software SASM-Agri (Canteri *et al.*, 2001).

4.3 RESULTADOS

Foram realizadas duas injeções por réplica de cada extrato de planta, obtendo-se seis cromatogramas por tratamento analisado. Considerando-se os 10 tratamentos utilizados na presente pesquisa (Tabela 4.3.2) e os dois grupos de plantas (IPR-Curió e IPR-Uirapuru com tratamento de sementes), foram obtidos 120 cromatogramas como o exemplo demonstrado na Figura 4.1.

FIGURA 4.1 – Cromatograma da análise por GCMS (Cromatografia gasosa e espectrometria de massas). Aveiro – Portugal, 2024.



Fonte: a autora.

Cada pico representa um composto observado no extrato em n-hexano de plantas ou plântulas analisadas. Vários compostos foram encontrados nas plantas e plântulas de feijão IPR Curió e IPR Uirapuru após a aplicação dos tratamentos via tratamento de sementes (Tabela 4.2). Dentre estes, destacaram-se pelas maiores concentrações: os ácidos graxos alfa-linolênico (alpha-Linolenic acid 1TMS), ácido palmítico (Palmitic Acid 1TMS) e ácido linoleádico (Linoelaidic acid 1TMS); o esterol estigmasterol (Stigmasterol 1TMS); o álcool glicerol (Glycerol 3TMS) e o açúcar sucrose (Sucrose 8TMS). Em menores quantidades puderam ser identificados outros ácidos graxos, ácidos carboxílicos, álcoois, açúcares, terpenoides, aminoácidos, polióis, alcanos, esteróis e hidrocarbonetos.

TABELA 4.2 – Caracterização fitoquímica, por grupo químico, de extratos de plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, utilizando cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GCMS). Aveiro – Portugal, 2024.

(continua)

Ácidos orgânicos		
Composto ¹	Tempo de retenção	Subgrupo
2-Oxo-octanoic acid	5.171	Ácido oxocarboxílico alifático
3-Oxobutanoic acid	5.791	Ácido oxocarboxílico alifático
3-Hydroxypropanoic acid	6.208	Ácido hidroxicarboxílico alifático
Propanedioic acid	7.034	Ácido dicarboxílico alifático
Butanedioic acid	8.330	Ácido dicarboxílico alifático
2,3-Dihydroxypropanoic acid	8.485	Ácido hidroxicarboxílico alifático
(E)-But-2-enedioic acid	8.708	Ácido dicarboxílico insaturado alifático
2,2-Dihydroxypropanedioic acid	9.646	Ácido dicarboxílico hidroxilado
2-Hydroxybutanedioic acid	9.977	Ácido hidroxidicarboxílico alifático
L-threonic acid	10.610	Ácido de açúcar
(2R,3R)-2,3-Dihydroxybutanedioic acid	11.381	Ácido dicarboxílico hidroxilado
2-Hydroxypropane-1,2,3-tricarboxylic acid (Citric acid)	13.419	Ácido tricarboxílico

TABELA 4.2 – Caracterização fitoquímica, por grupo químico, de extratos de plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, utilizando cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GCMS). Aveiro – Portugal, 2024.

(continuação)

Ácidos orgânicos		
Composto ¹	Tempo de retenção	Subgrupo
(E)-But-2-enedioic acid	15.167	Ácido dicarboxílico insaturado alifático
Ácidos graxos		
Hexanoic acid	5.107	Ácido graxo saturado
Hex-2-enoic acid	5.888	Ácido graxo insaturado (monoinsaturado)
Decanoic acid	9.741	Ácido graxo saturado
Dodecanoic acid	11.616	Ácido graxo saturado
Tetradecanoic acid	13.846	Ácido graxo saturado
Pentadecanoic acid	15.081	Ácido graxo saturado
Oct-3-enoic acid	16.249	Ácido graxo insaturado (monoinsaturado)
Hexadecanoic acid (Palmitic acid)	16.403	Ácido graxo saturado
Heptadecanoic acid	17.695	Ácido graxo saturado
(9Z)-Octadeca-9-enoic acid (Oleic acid)	18.596	Ácido graxo monoinsaturado
(9Z,12Z,15Z)-Octadeca-9,12,15-trienoic acid (α -Linolenic acid)	18.692	Ácido graxo poli-insaturado
Octadecanoic acid (Stearic acid)	19.024	Ácido graxo saturado
(9Z,12Z)-Octadeca-9,12-dienoic acid	19.821	Ácido graxo poli-insaturado
(5Z,8Z,11Z)-Eicosa-5,8,11-trienoic acid	20.588	Ácido graxo poli-insaturado
(5Z,8Z,11Z,14Z)-Eicosa-5,8,11,14-tetraenoic acid	20.962	Ácido graxo poli-insaturado
Eicosanoic acid	21.621	Ácido graxo saturado
Docosanoic acid	24.428	Ácido graxo saturado
Tricosanoic acid	25.967	Ácido graxo saturado
Tetracosanoic acid	27.594	Ácido graxo saturado
Hexacosanoic acid	31.012	Ácido graxo saturado
Triacontanoic acid	38.098	Ácido graxo saturado
Alcanos		
Octacosane	25.409	Hidrocarboneto alifático saturado
Eicosane	28.706	Hidrocarboneto alifático saturado
Tetracontane	32.209	Hidrocarboneto alifático saturado
Eicosane	35.779	Hidrocarboneto alifático saturado
Hexatriacontane (Padrão interno)	41.678	Hidrocarboneto alifático saturado
Álcoois		
Propane-1,2,3-triol	7.883	Poliól
Butane-1,2,3,4-tetrol	10.147	Poliól
Propane-1,2,3-triol (Glycerol)	10.873	Poliól
Hexatriacontan-1-ol	29.432	Álcool graxo
Octacosan-1-ol	32.926	Álcool graxo
Hexatriacontan-1-ol	36.442	Álcool graxo
Amidas		
Urea	7.499	Amida simples
Aminoácidos		
(S)-2-Amino-3-methylbutanoic acid (L-Valine)	5.361	Aminoácido alifático
(S)-2-Aminopropanoic acid (L-Alanine)	5.576	Aminoácido alifático
(S)-2-Amino-4-methylpentanoic acid (L-Leucine)	6.398	Aminoácido alifático
(2S,3S)-2-Amino-3-methylpentanoic acid (L-Isoleucine)	6.697	Aminoácido alifático
(S)-2-Amino-3-hydroxypropanoic acid (L-Serine)	7.694	Aminoácido hidroxilado

TABELA 4.2 – Caracterização fitoquímica, por grupo químico, de extratos de plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, utilizando cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GCMS). Aveiro – Portugal, 2024.

(continuação)

Aminoácidos		
Composto ¹	Tempo de retenção	Subgrupo
(2S,3R)-2-Amino-3-hydroxybutanoic acid (L-Threonine)	8.116	Aminoácido hidroxilado
2-Aminoacetic acid (Glycine)	8.258	Aminoácido alifático
(S)-2-Aminobutanedioic acid (L-Aspartic acid)	9.418	Aminoácido ácido
3-Aminopropanoic acid (β -alanine)	9.468	Aminoácido não proteinogênico
4-Aminobutanoic acid (GABA)	10.403	Aminoácido não proteinogênico
2-Amino-3-phenylpropanoic acid (DL-Phenylalanine)	10.616	Aminoácido aromático
(S)-2-Amino-3-carbamoylpropanoic acid (L-Asparagine)	11.040	Aminoácido alifático
Carboidratos		
2-Deoxyerythropentono-1,5-lactone	9.246	Lactona de açúcar (aldonolactona)
Gulono-1,4-lactone	13.038	Lactona de açúcar (ácido aldônico)
D-Psicofuranose	13.245	Monossacarídeo (ceto-hexose, furanose)
D-Allofuranose	13.682	Monossacarídeo (aldohexose, furanose)
D-Tagatofuranose	14.269	Monossacarídeo (ceto-hexose, furanose)
α -D-Mannopyranose	14.339	Monossacarídeo (aldohexose, piranose)
Mannono-1,4-lactone	14.388	Lactona de açúcar (ácido aldônico)
D-Galactopyranose	15.440	Monossacarídeo
Galactonic acid	15.652	Ácido aldônico
Ribonic acid	15.720	Ácido aldônico
myo-Inositol	16.951	Ciclitol (poliál cíclico)
scyllo-Inositol	16.961	Ciclitol (poliál cíclico)
Glycerol glycoside	19.904	Glicosídeo (açúcar conjugado a poliál)
Sucrose	24.343	Dissacarídeo
Melibiose	32.761	Dissacarídeo
Ésteres		
2-Hydroxypropyl thiocyanate	6.243	Éster de ácido tiocianico
Trimethylsilanol phosphate	7.853	Éster fosfórico
Butane-2,3-diyl diacetate	10.200	Diéster alifático
Esteróis		
Campesterol	34.601	Fitosterol
cholest-5-en-3 α -ol	34.590	Fitosterol
Stigmasterol	35.076	Fitosterol
Stigmast-5-en-3 β -ol (β -sitosterol)	36.149	Fitosterol
Lipídios		
2,3-Dihydroxypropyl (9Z)-octadec-9-enoate	23.498	Monoacilglicerol (monooleína)
2,3-Dihydroxypropyl hexadecanoate (1-Monopalmitin)	23.645	Monoacilglicerol (monopalmitina)
2,3-Dihydroxypropyl (9Z,12Z)-octadeca-9,12-dienoate	26.165	Monoacilglicerol (monolinoleína)
2,3-Dihydroxypropyl (9Z,12Z,15Z)-octadeca-9,12,15-trienoate	26.296	Monoacilglicerol (monolinolenina)
2,3-Dihydroxypropyl octadecanoate	26.655	Monoacilglicerol (monostearina)
Phytol tetradecanoate	40.401	Éster de ácido graxo
Terpenoides		
(6E,10E)-7,11,15-trimethylhexadeca-1,6,10,14-tetraene (Neophytadiene)	13.763	Diterpeno acíclico
3,7,11,15-Tetramethylhexadec-2-en-1-ol (Phytol)	18.083	Diterpeno alcoólico

TABELA 4.2 – Caracterização fitoquímica, por grupo químico, de extratos de plântulas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) das cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru, utilizando cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GCMS). Aveiro – Portugal, 2024.

(conclusão)

Terpenoides		
3,7,11,15-Tetramethylhexadec-2-en-1-yl acetate (Phytol, acetate)	20.914	Diterpeno esterificado (éster do fitol)
Squalene	27.215	Triterpeno acíclico (hidrocarboneto)
Epimethendiol	23.895	Álcool terpênico (diol)
γ -Tocopherol	30.224	Tocoferol (vitamina E)
α -Amyrin	37.166	Triterpeno pentacíclico (álcool)
Friedelan-3-one	39.701	Triterpeno pentacíclico (cetona)
3,7,11,15-Tetramethylhexadec-2-en-1-yl tetradecanoate (phytyl tetradecanoate)	40.387	Éster de diterpeno

Fonte: a autora.

Notas:

¹Compostos identificados nas bases de dados NIST14 Mass spectral e WILEY RegistryTM of Mass Spectra Data. A nomenclatura foi atualizada segundo a IUPAC.

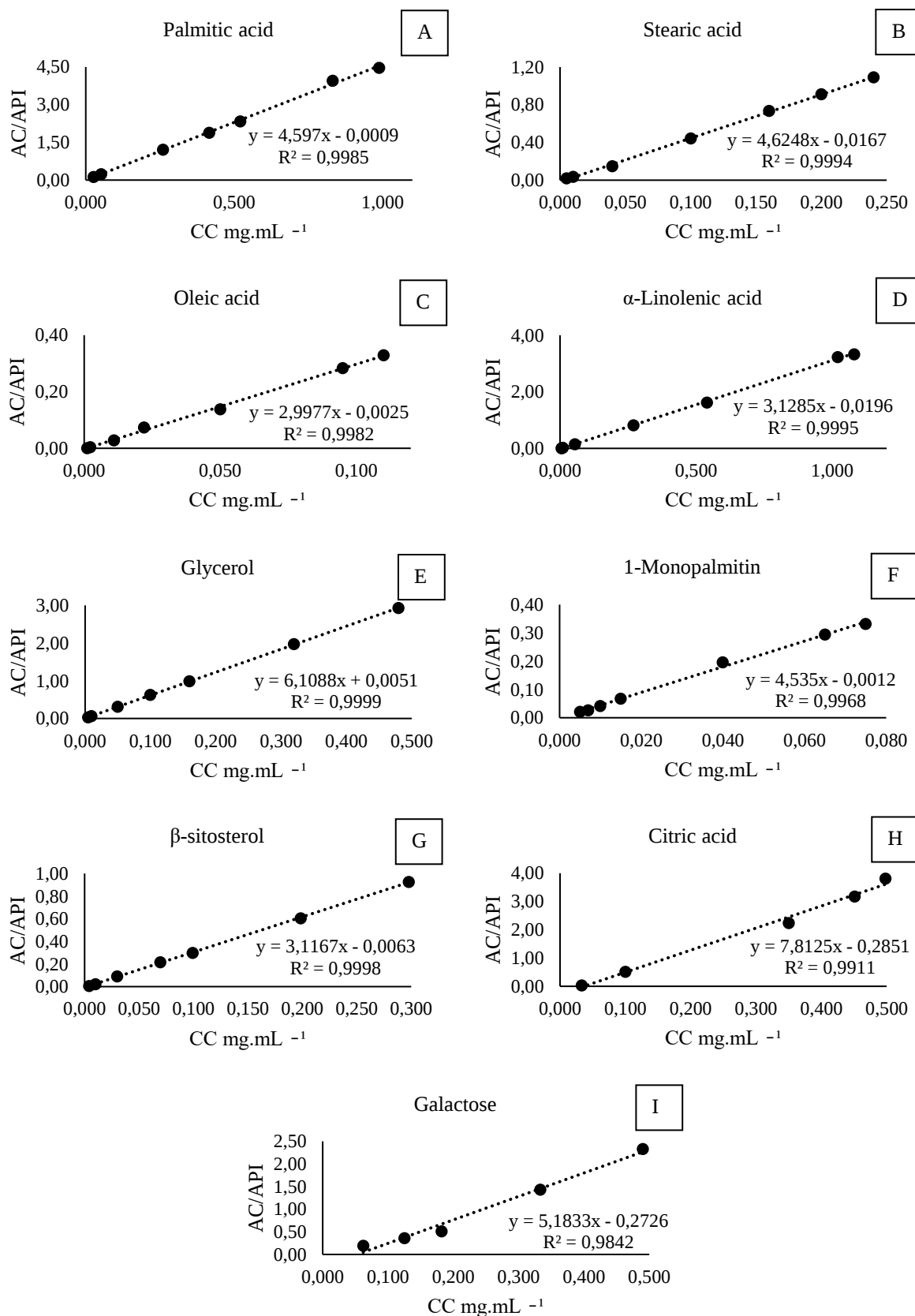
²Tempo de retenção do composto em minutos a partir do início da corrida.

4.3.1 Validação Analítica

As curvas de calibração construídas para ácido palmítico (Palmitic acid - $R^2 = 0,9985$), ácido esteárico (Stearic acid - $R^2 = 0,9994$), ácido oleico (Oleic acid - $R^2 = 0,9982$), ácido α -linolênico (α -Linolenic acid - $R^2 = 0,9995$) (Figuras 4.2A, B, C e D, respectivamente), glicerol (Glycerol - $R^2 = 0,9999$), 1-Monopalmitin ($R^2 = 0,9968$), β -Sitosterol ($R^2 = 0,9998$), ácido cítrico (Citric acid - $R^2 = 0,9911$) e Galactose ($R^2 = 0,9842$) (Figura 4.3A, B, C, D e E, respectivamente), apresentaram linearidade nas faixas de concentração avaliadas.

Em todos os casos, observou-se relação consistente entre a razão de áreas do composto avaliado e do padrão interno (AC/API) e a concentração dos compostos, o que indica uma resposta adequada do sistema cromatográfico aos compostos avaliados. Os coeficientes de determinação (R^2) próximos a 1 (um) demonstram que as curvas foram apropriadas para a quantificação dos metabólitos nas amostras, assegurando confiabilidade aos resultados que serão apresentados na sequência.

FIGURA 4.2 – Curvas de calibração dos compostos Palmitic acid (A), Stearic acid (B), Oleic acid (C) e α -Linolenic acid (D), Glycerol (E), 1-Monopalmitin (F), β -Sitosterol (G), Citric acid (H), Galactose (I), obtidas a partir da razão AC/API (área do composto/área do padrão interno) e das CC (concentração do composto) analisadas por GC-MS. Aveiro – Portugal, 2024.



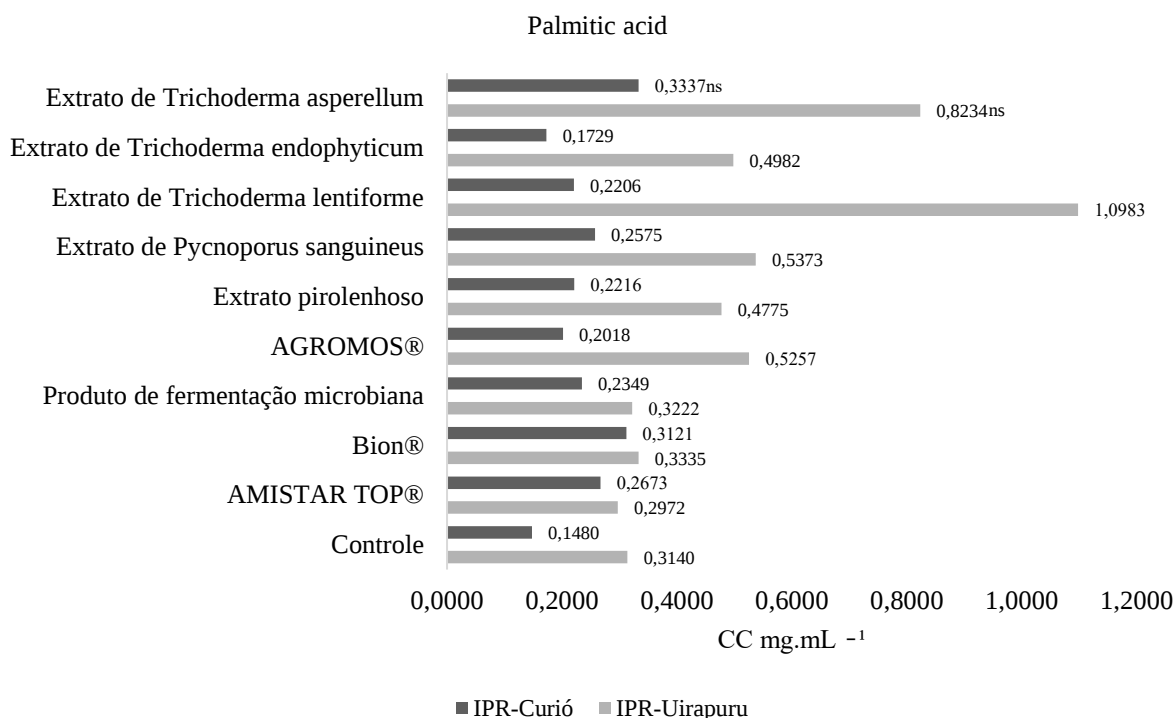
Fonte: a autora.

4.3.2 Quantificação dos Metabólitos

4.3.2.1 Ácidos graxos

Os teores de ácido palmítico não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para nenhuma das cultivares avaliadas (Figura 4.4). Na cultivar IPR-Curió, as concentrações variaram de 0,1480 a 0,3337 mg mL⁻¹, enquanto na cultivar IPR-Uirapuru os valores oscilaram entre 0,2972 e 1,0983 mg mL⁻¹. Apesar da ausência de diferença estatística entre os tratamentos dentro de cada cultivar, observou-se que a cultivar IPR-Uirapuru apresentou concentrações absolutas mais elevadas de ácido palmítico em relação à IPR-Curió, indicando diferenças entre o perfil lipídico das cultivares.

FIGURA 4.4 – Concentrações de ácido palmítico (Palmitic acid) obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.



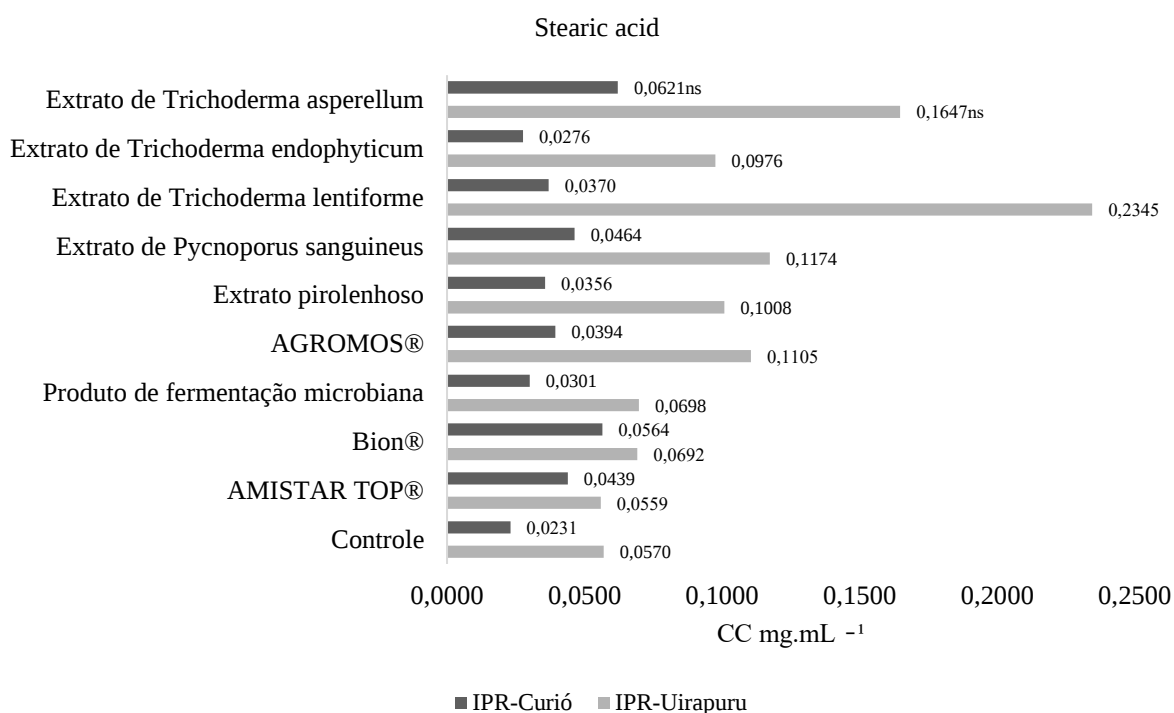
Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo pelo teste de Tukey, a 5% de significância; Coeficiente de variação: 18,44% (IPR-Curió) e 24,63% (IPR-Uirapuru).

As concentrações de ácido esteárico também não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para as cultivares avaliadas (Figura 4.5). Na cultivar IPR-Curió, os valores variaram de 0,0231 a 0,0621 mg mL⁻¹, enquanto na cultivar IPR-Uirapuru as concentrações oscilaram entre 0,0559 e 0,2345 mg mL⁻¹. Observou-se que a cultivar IPR-Uirapuru apresentou concentrações mais elevadas de ácido esteárico em comparação à IPR-Curió, indicando novamente diferenças no perfil lipídico das cultivares.

As concentrações de ácido oleico apresentaram comportamento distinto entre as cultivares avaliadas (Figura 4.6). Na cultivar IPR-Curió, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, com concentrações variando entre 0,0870 e 0,2361 mg mL⁻¹. Em contrapartida, na cultivar IPR-Uirapuru, verificou-se efeito significativo dos tratamentos sobre os teores de ácido oleico, com concentrações variando de 0,1356 a 0,6456 mg mL⁻¹.

FIGURA 4.5 – Concentrações de ácido esteárico (Stearic acid) obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.



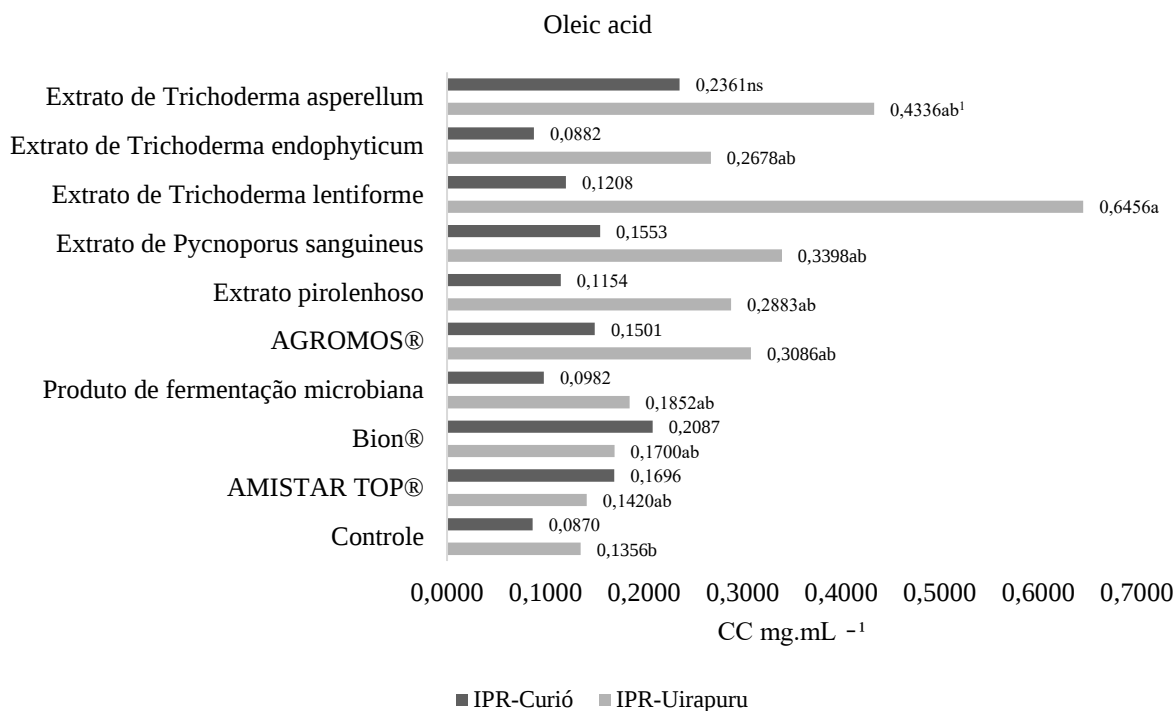
Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo pelo teste de Tukey, a 5% de significância; Coeficiente de variação: 21,16% (IPR-Curió) e 24,25% (IPR-Uirapuru).

A maior concentração foi observada no tratamento com extrato de *T. lentiforme*, que diferiu estatisticamente do controle, o qual apresentou a menor quantidade de ácido oleico entre os tratamentos (Figura 4.6). Esses resultados indicam que, diferentemente da cultivar IPR-Curió, o metabolismo de ácidos graxos insaturados, especificamente o ácido oleico na cultivar IPR-Uirapuru respondeu de forma diferenciada aos tratamentos avaliados.

As concentrações do ácido graxo insaturado α -linolênico apresentaram respostas distintas entre as cultivares avaliadas (Figura 4.7). Na cultivar IPR-Curió, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, e os valores de concentração do composto tiveram variações entre 0,1847 e 0,4931 mg mL⁻¹.

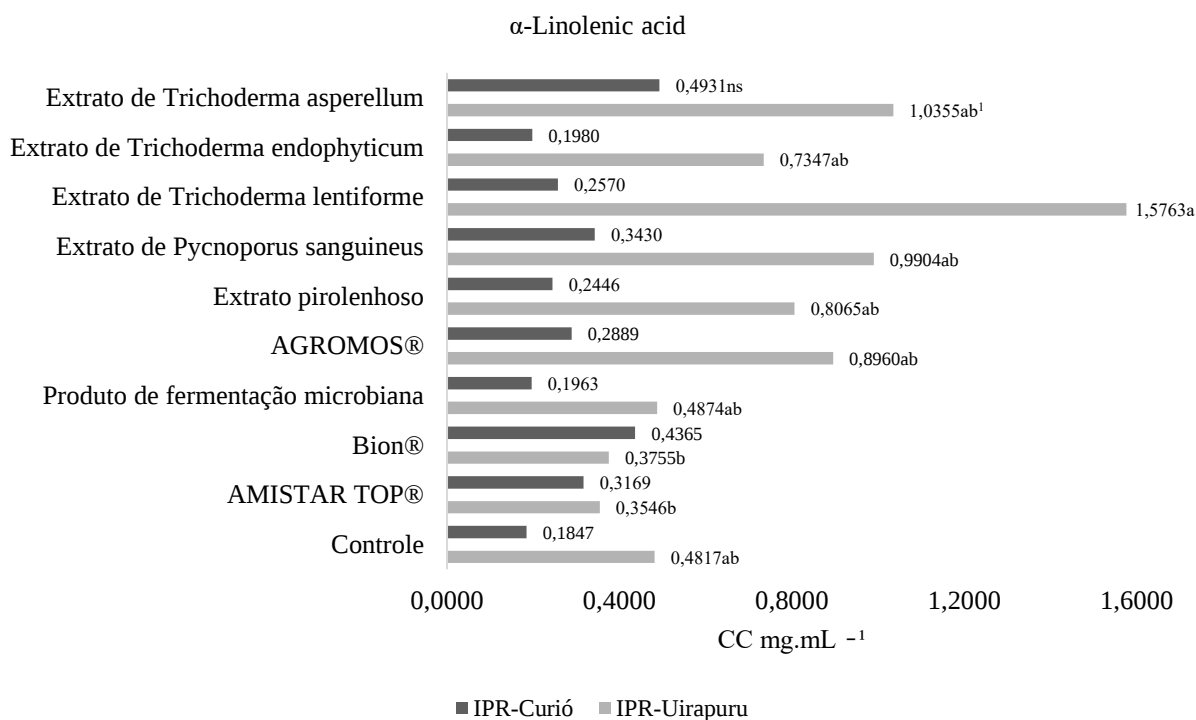
FIGURA 4.6 – Concentrações de ácido oleico (Oleic acid) obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.



Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo. Coeficiente de variação: 24,6% (IPR-Curió) e 25,61% (IPR-Uirapuru).

FIGURA 4.7 – Concentrações de ácido α -Linolênico (α -Linolenic acid) obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.



Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo. Coeficiente de variação: 25,73% (IPR-Curió) e 24,83% (IPR-Uirapuru).

Por outro lado, na cultivar IPR-Uirapuru (Figura 4.7), verificou-se efeito significativo dos tratamentos sobre os teores de α -linolênico, com concentrações variando de 0,4817 a 1,5763 mg mL⁻¹. A maior concentração deste ácido graxo, assim como para o ácido oleico, foi observada no tratamento com extrato de *T. lentiforme*. Este tratamento diferiu estatisticamente do tratamento com a menor concentração do ácido, o fungicida AMISTAR TOP®, mas não diferiu do controle. Os resultados indicam que a cultivar IPR-Uirapuru apresentou maior sensibilidade do metabolismo de ácidos graxos poli-insaturados aos tratamentos avaliados quando comparada à IPR-Curió.

Em conjunto, os resultados obtidos para os ácidos graxos indicam que a composição lipídica respondeu de maneira distinta às condições avaliadas, com variações mais evidentes nos ácidos graxos insaturados em comparação aos saturados. Enquanto os compostos saturados apresentaram um perfil mais estável entre os tratamentos e cultivares, os insaturados mostraram maior amplitude de resposta, refletindo alterações na composição lipídica das cultivares.

A diferença no comportamento dos ácidos graxos reforça a necessidade de uma abordagem que não considere apenas os metabólitos isolados, mas também a distribuição entre as classes de ácidos graxos. Dessa forma, o índice de insaturação lipídica foi calculado através da razão entre a soma dos ácidos graxos insaturados (UFA= oleico + α -linolênico) e a soma dos ácidos graxos saturados (SFA= palmitico + esteárico), conforme descrito na literatura para caracterizar alterações na composição de ácidos graxos (Luo *et al.*, 2025).

Com a análise do índice de insaturação lipídica (UFA/SFA), evidenciam-se comportamentos diferentes para as duas cultivares avaliadas (Tabela 4.3). Para a cultivar IPR-Curió, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, indicando manutenção da proporção entre ácidos graxos insaturados e saturados ao longo das condições avaliadas. Isso indica que a cultivar IPR-Curió manteve um perfil lipídico estável, sem grandes alterações na proporção entre ácidos graxos saturados e insaturados em resposta aos tratamentos.

Já na cultivar IPR-Uirapuru, o índice UFA/SFA teve variação estatística significativa entre os tratamentos, demonstrando alterações na composição de ácidos graxos das plântulas de determinados tratamentos (Tabela 4.3). Os tratamentos contendo o extrato de *P. sanguineus*, extrato pirolenhoso e AGROMOS® diferiram estatisticamente do indutor de resistência Bion®.

Quando os índices UFA/SFA são maiores que 1 (um), demonstram maior proporção de ácidos graxos insaturados em relação aos saturados. O aumento na concentração de ácidos graxos insaturados pode contribuir para maior fluidez das membranas celulares, favorecendo a manutenção da integridade estrutural e da funcionalidade das membranas em condições de infecção por patógenos ou estresse (Mello, 2008).

Em sementes e plântulas, a composição lipídica influencia também processos como a germinação, o crescimento inicial e a adaptação a variações ambientais. Algumas pesquisas trazem que maiores teores de ácidos graxos insaturados podem trazer maior tolerância a condições adversas, como estresse por frio, ao facilitar a reorganização das membranas durante fases críticas do desenvolvimento inicial das plantas (Dhaliwal *et al.*, 2024; Sanchez; Mangat; Angeles-Shim, 2019).

Além disso, os ácidos graxos insaturados participam de vias de sinalização mediadas por lipídios, atuando como precursores de moléculas envolvidas em respostas fisiológicas a fatores adversos, incluindo a resistência a doenças, o que reforça a importância do índice UFA/SFA como um indicador de ajustes metabólicos em plantas (Kachroo; Kachroo, 2009; Voronkov; Ivanova, 2025).

TABELA 4.3 – Índice de insaturação lipídica (UFA/SFA), determinado por GC-MS, nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Ponta Grossa – Brasil, 2025.

Tratamento	UFA/SFA	
	IPR-Curió	IPR-Uirapuru
Extrato de <i>Trichoderma asperellum</i>	1,8381ns	1,4551abc ¹
Extrato de <i>Trichoderma endophyticum</i>	1,4083	1,6717abc
Extrato de <i>Trichoderma lentiforme</i>	1,4685	1,6740abc
Extrato de <i>Pycnoporus sanguineus</i>	1,6323	2,0356a
Extrato pirolenhoso	1,2358	1,9212ab
AGROMOS®	1,8097	1,9337ab
Produto de fermentação microbiana	0,9782	1,7205abc
Bion®	1,8312	1,1356c
AMISTAR TOP®	1,5280	1,4112bc
Controle negativo	1,3404	1,6651abc
Coeficiente de variação (%)	25,63	12,74

Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo.

4.3.2.2 Glicerol e lipídios

As concentrações de glicerol apresentaram comportamento distinto entre as cultivares avaliadas (Figura 4.8). Para cultivar IPR-Curió, houve efeito significativo dos tratamentos, com a maior concentração encontrada no tratamento com extrato de *T. asperellum*, enquanto os tratamentos com AGROMOS® e fungicida AMISTAR TOP® apresentaram os menores teores do composto. Os demais tratamentos exibiram concentrações intermediárias de glicerol, não diferindo estatisticamente entre si.

Na cultivar IPR-Uirapuru, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos (Figura 4.8). Esses resultados indicam que a modulação dos teores de glicerol em

resposta aos tratamentos ocorreu de forma dependente da cultivar, refletindo respostas fisiológicas distintas durante o estabelecimento inicial das plântulas.

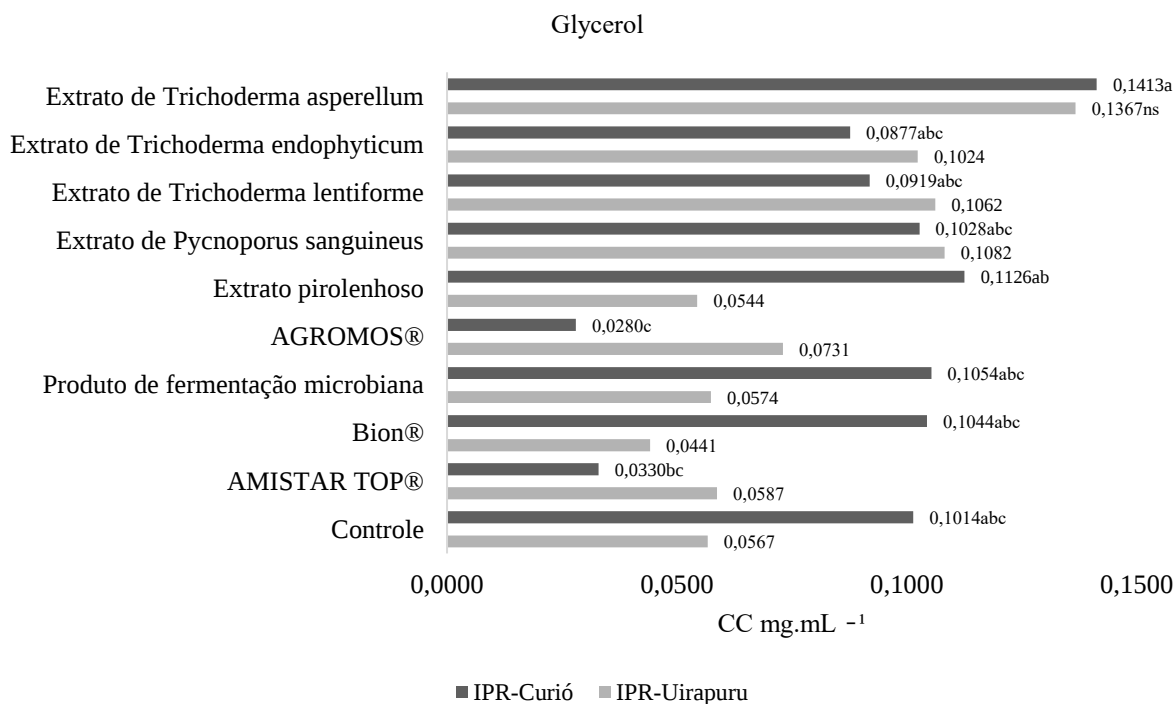
Nas plantas, o glicerol exerce uma função importante no metabolismo lipídico, atuando como estrutura básica para a formação de lipídios e como intermediário na mobilização de reservas durante o desenvolvimento inicial da planta (Kim, 2020). Além dessas funções, a síntese de glicerol a partir de *sn*-glicerol-3-fosfato favorece seu acúmulo nas células em resposta a estresses causados por condições ambientais adversas (Gull; Pasek, 2021; Mandal *et al.*, 2011). Adicionalmente, o glicerol-3-fosfato, composto intermediário do metabolismo do glicerol em plantas, tem sido associado a vias de sinalização relacionadas à defesa, sendo descrito como componente envolvido na ativação de mecanismos de *priming* e de resistência sistêmica adquirida (Chanda *et al.*, 2011).

Alguns dos tratamentos avaliados no presente estudo são descritos na literatura como elicitores ou indutores de resistência capazes de ativar respostas metabólicas precoces associadas ao *priming* de defesa. Extratos fúngicos, como os derivados de *P. sanguineus* e compostos orgânicos presentes no extrato pirolenhoso, têm sido associados à ativação de redes metabólicas envolvidas na resistência sistêmica adquirida (Brito *et al.*, 2025; Zhou *et al.*, 2024b). Embora esses tratamentos não tenham atuação direta sobre as rotas metabólicas do glicerol, há indução de vias metabólicas interligadas, nas quais o glicerol e o glicerol-3-fosfato são descritos como componentes relevantes da sinalização de defesa e do estado de *priming* em plantas (Mandal *et al.*, 2011).

As concentrações de 1-Monopalmitin não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para nenhuma das cultivares avaliadas (Figura 4.9). Na cultivar IPR-Curió, os valores variaram de 0,0070 a 0,0369 mg mL⁻¹, enquanto na cultivar IPR-Uirapuru as concentrações ficaram entre 0,0289 e 0,1053 mg mL⁻¹. Observou-se que de modo geral a cultivar IPR-Uirapuru apresentou concentrações mais elevadas do composto em comparação à IPR-Curió, indicando possíveis diferenças no perfil lipídico entre as cultivares.

O 1-Monopalmitin é um monoacilglicerol formado durante a hidrólise parcial dos triacilgliceróis e faz parte da dinâmica de mobilização de lipídios de reserva durante a germinação e o estabelecimento inicial das plântulas. Nesse estágio do desenvolvimento da planta, os lipídios armazenados nas sementes são progressivamente reorganizados para suprir energia e carbono ao crescimento, e os monoacilgliceróis surgem como intermediários transitórios desse processo (Graham, 2008).

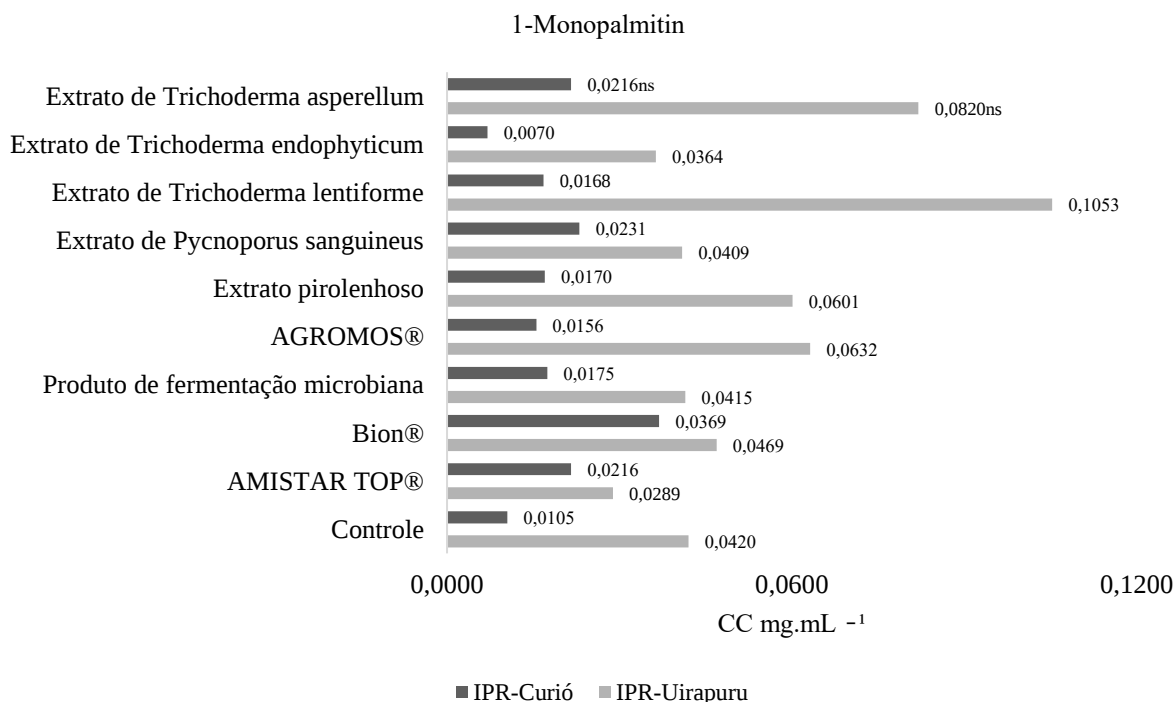
FIGURA 4.8 – Concentrações de glicerol (Glycerol) obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.



Fonte: a autora.

Notas: ¹Médias seguidas da mesma letra não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância; ns: não significativo. Coeficiente de variação: 16,38% (IPR-Curió) e 24,25% (IPR-Uirapuru).

FIGURA 4.9 – Concentrações de 1-Monopalmitin obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.



Fonte: a autora.

Notas: ns: não significativo pelo teste de Tukey, a 5% de significância; Coeficiente de variação: 24,00% (IPR-Curió) e 23,18% (IPR-Uirapuru).

A ausência de variações significativas nos teores de 1-Monopalmitin entre os tratamentos sugere que os tratamentos aplicados via sementes não interferiram nas etapas da reorganização dos lipídios. Embora o 1-Monopalmitin não atue diretamente como molécula sinalizadora, pesquisas indicam que ajustes nos lipídios podem fazer parte de processos de preparação fisiológica da planta. A mobilização e a reorganização de lipídios estão ligadas a ao metabolismo para a indução de resistência e à modulação das respostas a estresses bióticos (Hilker *et al.*, 2016; Kachroo; Kachroo, 2009).

4.3.2.3 Esteróis, terpenoides e aminoácidos

A análise estatística dos esteróis, terpenoides e aminoácidos presentes nas amostras não foi realizada devido à variabilidade observada na composição dos cromatogramas, uma vez que nem todos os compostos dos grupos químicos identificados estiveram presentes de forma homogênea nas amostras avaliadas.

Em plantas, a síntese e a mobilização de esteróis, terpenoides e aminoácidos pode variar entre indivíduos, resultando em teores próximos ao limite de detecção em algumas amostras. Além disso, variações na eficiência da derivatização e critérios de identificação baseados em bibliotecas espectrais podem influenciar a detecção e a integração dos picos em GC-MS (Dunn *et al.*, 2012; Ernst *et al.*, 2014).

Dessa forma, as concentrações totais de esteróis, terpenoides e aminoácidos não representaram variável homogênea entre os tratamentos, inviabilizando análises estatísticas, motivo pelo qual os resultados foram utilizados de forma descritiva, visando a identificação de tendências associadas aos tratamentos avaliados.

As concentrações de esteróis totais, determinadas por GC-MS, variaram entre os tratamentos e entre as cultivares avaliadas (Figura 4.10). Na cultivar IPR-Curió, os valores oscilaram de 0,1556 mg mL⁻¹, observados no tratamento com extrato de *T. endophyticum*, a 0,3779 mg mL⁻¹, no tratamento com extrato de *P. sanguineus*.

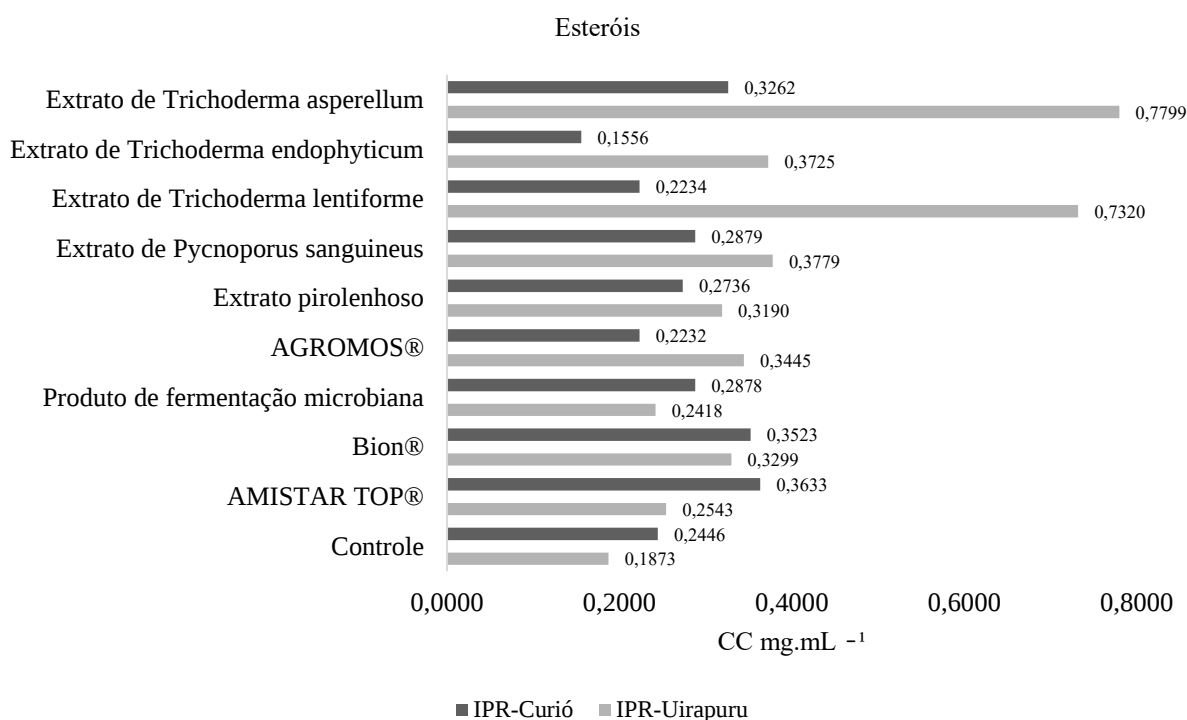
Para a cultivar IPR-Uirapuru (Figura 4.10), as concentrações de esteróis totais apresentaram uma amplitude maior, variando de 0,1873 mg mL⁻¹ no controle a 0,7799 mg mL⁻¹ no tratamento com extrato de *T. asperellum*. De modo geral, a cultivar IPR-Uirapuru apresentou valores mais elevados de esteróis totais em comparação à IPR-Curió, independente do tratamento aplicado.

Os esteróis vegetais fazem parte da organização e do funcionamento das membranas celulares, influenciando diretamente em propriedades como a permeabilidade e a estabilidade (Valitova; Sulkkarnayeva; Minibayeva, 2016). Em plantas, as mudanças na composição e na

concentração de esteróis estão relacionadas a mecanismos de reorganização de membranas e processos de sinalização associados à defesa vegetal (Griebel; Zeier, 2010; Schaller, 2003).

Nesse contexto, os resultados obtidos para esteróis totais reforçam a hipótese de que os tratamentos aplicados via sementes podem promover ajustes metabólicos, afetando a organização das membranas celulares e contribuindo indiretamente para mecanismos associados à resistência das plantas.

FIGURA 4.10 – Concentrações de esteróis totais obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.



Fonte: a autora.

Notas: Os esteróis avaliados foram o campesterol, estigmasterol, β -sitosterol e cholest-5-en-3 α -ol; entretanto, nem todos os compostos foram detectados simultaneamente em todas as amostras analisadas.

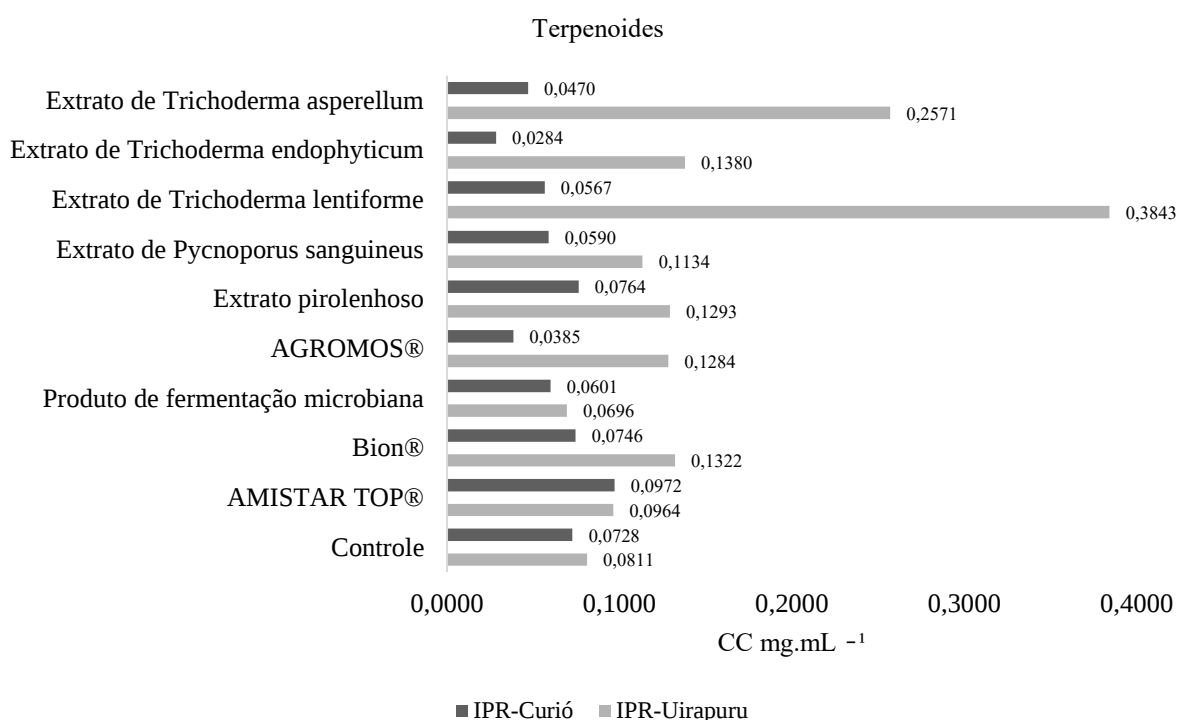
As concentrações totais de terpenoides, determinadas por GC-MS, variaram entre os tratamentos e entre as cultivares avaliadas (Figura 4.11). Na cultivar IPR-Curió, os valores oscilaram de 0,0284 mg mL⁻¹, observados no tratamento com extrato de *T. endophyticum*, a 0,0972 mg mL⁻¹, no tratamento com AMISTAR TOP®.

Para a cultivar IPR-Uirapuru (Figura 4.11), foi observada uma maior amplitude, com concentrações entre 0,0811 mg mL⁻¹, no controle, e 0,3843 mg mL⁻¹, no tratamento com extrato de *T. lentiforme*. Novamente, a cultivar IPR-Uirapuru apresentou concentrações mais elevadas de terpenoides totais em comparação à IPR-Curió.

Os terpenoides identificados na presente pesquisa pertencem principalmente à rota dos isoprenoides, um dos principais grupos de compostos associados à defesa vegetal (Pinto-Zevallos *et al.*, 2013). Esse grupo incluiu derivados de phytol, tocoferóis, triterpenos e precursores de esteróis, compostos reconhecidamente envolvidos na proteção de membranas e em respostas induzidas a estresses bióticos (Thimmappa *et al.*, 2014). Em plantas, a presença e as alterações no perfil desses compostos indicam ativação de rotas metabólicas interligadas à defesa (Havaux *et al.*, 2005; Stout, 2007).

De modo geral, a variação no perfil de terpenoides sugeriu a ativação de rotas metabólicas associadas à defesa e ao estado de *priming*, indicando respostas fisiológicas desencadeadas pelos tratamentos aplicados via sementes.

FIGURA 4.11 – Concentrações de terpenoides totais obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR Uirapuru-em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.



Fonte: a autora.

Notas: Os terpenoides avaliados foram neophytadiene; phytol e seus derivados (phytol, phytol acetate e phytyl tetradecanoate); γ -tocopherol; squalene; α -amyrin; epimethendiol e friedelan-3-one; entretanto, nem todos os compostos foram detectados simultaneamente em todas as amostras analisadas.

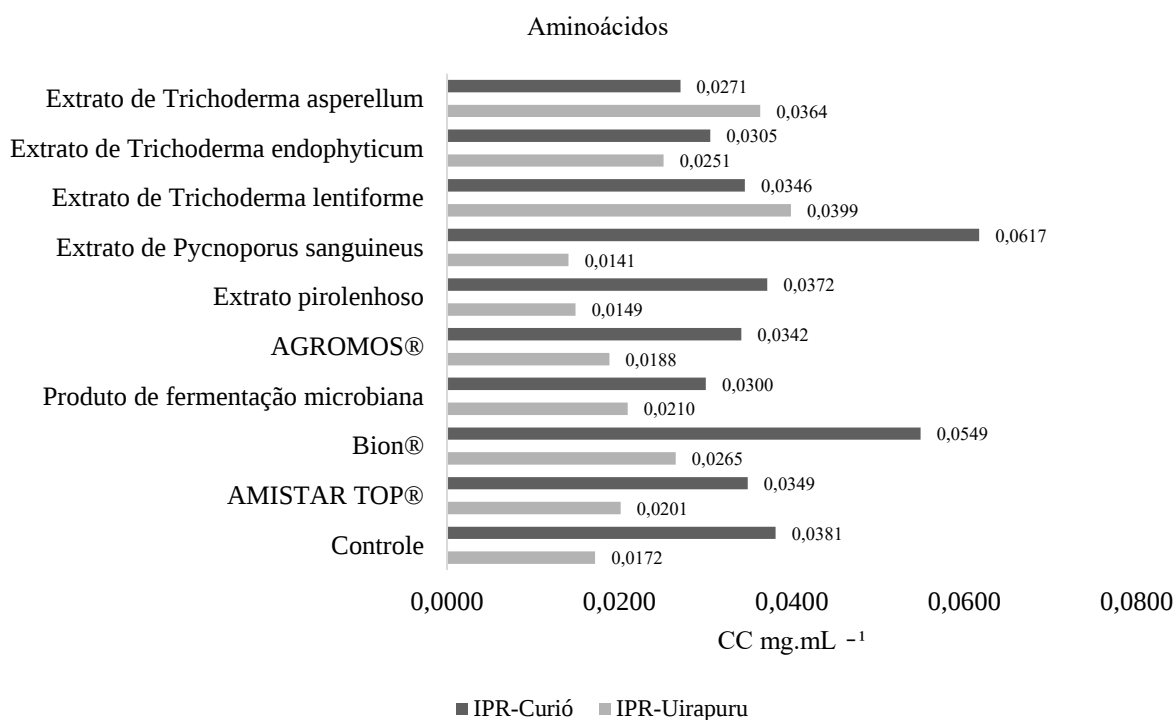
As concentrações totais de aminoácidos, determinadas por GC-MS, variaram entre os tratamentos e entre as cultivares avaliadas (Figura 4.12). Na cultivar IPR-Curió, as concentrações permaneceram no intervalo entre 0,0210 mg mL⁻¹, no tratamento com produto de fermentação microbiana, e 0,0617 mg mL⁻¹, no tratamento com extrato de *P. sanguineus*.

Para a cultivar IPR-Uirapuru, as concentrações variaram de 0,0141 mg mL⁻¹ (extrato de *P. sanguineus*), a 0,0399 mg mL⁻¹, com o extrato de *T. lentiforme*.

Os aminoácidos são compostos muito importantes dentro do metabolismo vegetal, não apenas como constituintes de proteínas, mas também como intermediários e precursores de diversas rotas associadas à resposta a estresses. Muitos aminoácidos participam direta ou indiretamente da formação de metabólitos secundários, de modo que variações em seu perfil podem indicar ativação de rotas metabólicas que são ligadas à resistência de plantas.

Em fases iniciais de desenvolvimento, como no caso das plântulas avaliadas, a atividade dos aminoácidos em resposta à aplicação de tratamentos pode ser associada ao estabelecimento do estado de preparo fisiológico (*priming*), no qual a planta reorganiza seu metabolismo antes mesmo do contato com o patógeno, mas em resposta ao estímulo do elicitor (Pieterse *et al.*, 2014; Tugizimana *et al.*, 2018).

FIGURA 4.12 – Concentrações de aminoácidos totais obtidas por GC-MS nas cultivares IPR-Curió e IPR-Uirapuru em resposta aos tratamentos aplicados. Aveiro – Portugal, 2024.



Fonte: a autora.

Notas: Os aminoácidos avaliados foram valina, prolina, serina, treonina, glicina, alanina, β-alanina, leucina, isoleucina, norvalina, norleucina, fenilalanina, ácido aspártico, asparagina e ácido 4-aminobutanoico (GABA); entretanto, nem todos os compostos foram detectados simultaneamente em todas as amostras analisadas.

Em conjunto, os resultados obtidos para esteróis, terpenoides e aminoácidos demonstram que os tratamentos promoveram modificações metabólicas, envolvendo tanto metabólitos secundários quanto componentes do metabolismo primário. Mesmo com as

variações na detecção individual dos compostos, de forma geral, os resultados observados indicam atividade metabólica compatível com ativação de rotas metabólicas ligadas à resistência de plantas. Detectar essa atividade ainda na fase de plântula, evidencia que a aplicação dos tratamentos, principalmente os extratos fúngicos via sementes, foi capaz de desencadear respostas metabólicas possivelmente associadas à defesa das plantas.

4.4 CONCLUSÕES

As análises por GC-MS demonstraram que o tratamento de sementes com produtos alternativos promoveu alterações no perfil metabólico de plântulas de feijão.

As respostas foram dependentes da cultivar, com maior sensibilidade da IPR-Uirapuru, especialmente em relação aos ácidos graxos insaturados e ao índice de insaturação lipídica.

O tratamento de sementes foi capaz de desencadear respostas metabólicas compatíveis com processos associados à indução de resistência em feijão.

REFERÊNCIAS

- ADAPAR. Amistar Top® 400. **Bula**. Curitiba, 2022. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2023-04/amistartop.pdf. Acesso em: 27 set. 2023.
- ADAPAR. Bion® 500 WG. **Bula**. Curitiba, 2022. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2022-08/bion500wg.pdf. Acesso em: 27 set. 2023.
- ALDANA-MEJÍA, J.; CCANA-CCAPATINTA, G. V.; RIBEIRO, V. P.; ARRUDA, C.; VENEZIANI, R. C. S.; AMBRÓSIO, S. R.; BASTOS, J. K. A validated HPLC-UV method for the analysis of phenolic compounds in brazilian red propolis and *Dalbergia ecastaphyllum*. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 198, n. 10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2021.114029>. Acesso em: 13 mai. 2024.
- ALLTECH. Agro-Mos®. **Safety Data Sheet**, v. 57, n. 78, 2012. Disponível em: <https://www.alltech.com/sites/default/files/2020-12/SDS%20Agro-Mos%200416DB.PDF>. Acesso em: 03 mai. 2023.
- BHAVANAM, S.; STOUT, M. Seed treatment with jasmonic acid and methyl jasmonate induces resistance to insects but reduces plant growth and yield in rice, *Oryza sativa*. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.691768>. Acesso em: 7 nov. 2025.
- BRITO, O. D. C.; SCHONS, B. C.; CECATTO JUNIOR, R.; DALEVEDOVE, D. B.; FUJIMOTO, J. Y. H.; STANGARLIN, J. R. Proteins of *Pycnopus sanguineus* have nematocidal activity and induce resistance to *Meloidogyne spp.* in Micro-Tom tomato plants. **Tropical Plant Pathology**, v. 50, art. 43, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-025-00729-w>. Acesso em: 7 nov. 2025.
- CAI, J.; AHARONI, A. Amino acids and their derivatives mediating defense priming and growth tradeoff. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 69, art. 102288, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102288>. Acesso em: 22 dez. 2025.
- CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS FILHO, J. S.; GIGLIOTI, E. A.; GODOY, C. V. SASM-Agri: sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n. 2, p. 18-24, dez., 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/512901/1/SASMAGRI.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2023.
- CASADO, P. S.; CARVALHO, G.; CERESINI, P. C.; CASTROAGUDÍN, V. L.; SABBAG, O. J.; VICENTINI, S. N. C.; MACIEL, J. L. N. Método eficiente, baseado em leitores de microplaca, para detecção de resistência a fungicidas triazóis (IDM) e estrobirulinas (Iqe) em populações do patógeno da brusone do trigo. **Summa Phytopathologica**, v. 44, n. 3, p. 236-244, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-5405/185072>. Acesso em: 02 jan. 2025.

CHALKER-SCOTT, L.; FUCHIGAMI, L. H. The role of phenolic compounds in plant stress responses. In: LI, P. H. (org). **Low temperature stress physiology in crops**, USA. CRC Press, 2018, 211p. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781351074186>. Acesso em: 02 jan. 2025.

CHANDA, B.; XIA, Y.; MANDAL, M. K.; YU, K.; SEKINE, K.-T.; GAO, Q.; SELOTE, D.; HU, Y.; STROMBERG, A.; NAVARRE, D.; KACHROO, A.; KACHROO, P. Glycerol-3-phosphate is a critical mobile inducer of systemic immunity in plants. **Nature Genetics**, v. 43, n. 5, p. 421–427, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ng.798>. Acesso em: 7 nov. 2025.

CHOWDHARY, V. A.; TANK, J. G. Biomolecules regulating defense mechanism in plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v. 93, p. 17–25, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40011-022-01387-7>. Acesso em: 12 dez. 2025.

DECSI, K.; AHMED, M.; RIZK, R.; ABDUL-HAMID, D.; KOVÁCS, G. P.; TÓTH, Z. Emerging trends in non-protein amino acids as potential priming agents: implications for stress management strategies and unveiling their regulatory functions. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 11, art. 6203, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms25116203>. Acesso em: 22 dez. 2025.

DHALIWAL, L. K.; SHIM, J.; AULD, D.; ANGELES-SHIM, R. B. Fatty acid unsaturation improves germination of upland cotton (*Gossypium hirsutum*) under cold stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1286908>. Acesso em: 12 dez. 2025.

DÍAZ-VALLE, A.; LÓPEZ-CALLEJA, A. C.; ALVAREZ-VENEGAS, R. Enhancement of pathogen resistance in common bean plants by inoculation with *Rhizobium etli*. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-19, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01317>. Acesso em: 02 jan. 2025.

DUNN, W. B.; WILSON, I. D.; NICHOLLS, A. W.; BROADHURST, D. The importance of experimental design and QC samples in large-scale and MS-driven untargeted metabolomic studies of humans. **Bioanalysis**, v. 4, n. 18, p. 2249–2264, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.4155/bio.12.204>. Acesso em: 26 set. 2024.

EPB – Extrato Pirolenhoso do Brasil. **Extrato Pirolenhoso®**, 2023. Disponível em: <https://extratopirolenhosodobrasil.com/epb/>. Acesso em: 27 set. 2023.

ERNST, M.; SILVA, D. B.; SILVA, R. R.; VÊNCIO, R. Z. N.; LOPES, N. P. Mass spectrometry in plant metabolomics strategies: from analytical platforms to data acquisition and processing. **Natural Product Reports**, v. 31, p. 784–806, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c3np70086k>. Acesso em: 26 set. 2024.

FERREIRA, C. M. Movimento “Arroz e Feijão: a comida do Brasil” – proposta para valorização da tradicional alimentação. In: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (org). **Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**, Brasília, DF. EMBRAPA, 2021, p. 147-163. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Ferreira-10/publication/354587015_Arroz_e_feijao_tradicao_e_seguranca_alimentar/links/6141166d5

78238365b0b1669/Arroz-e-feijao-tradicao-e-seguranca-alimentar.pdf#page=148. Acesso em: 02 jan. 2025.

GARCIA, F. A. O.; ROMEIRO, R. S. Biocontrole da mancha angular do feijoeiro por antagonistas bacterianos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 12, p. 1603-1608, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/j/pab/a/cxKKpjWxzPWp4yMjpQkJydR/?format=pdf&utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 02 jan. 2025

GRAHAM, I. A. Seed storage oil mobilization. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 115–142, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092938>. Acesso em: 7 nov. 2025.

GRIEBEL, T.; ZEIER, J. A role for beta-sitosterol to stigmasterol conversion in plant–pathogen interactions. **The Plant Journal**, v. 63, n. 2, p. 254–268, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2010.04235.x>. Acesso em: 7 nov. 2025.

GULL, M.; PASEK, M. A. The role of glycerol and its derivatives in the biochemistry of living organisms, and their prebiotic origin and significance in the evolution of life. **Catalysts** v. 11, n. 1, art. 86, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/catal11010086>. Acesso em: 17 dez. 2025.

HAVAUX, M.; EYMERY, F.; PORFIROVA, S.; REY, P.; DÖRMANN, P. Vitamin E protects against photoinhibition and photooxidative stress in *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Cell**, v. 17, n. 12, p. 3451–3469, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1105/tpc.105.037036>. Acesso em: 7 nov. 2025.

HILKER, M.; SCHWACHTJE, J.; BAIER, M.; BALAZADEH, S.; BÄURLE, I.; GEISELHARDT, S.; HINCHA, D. K.; KUNZE, R.; MUELLER-ROEBER, B.; RILLIG, M. C.; ROLFF, J.; ROMEIS, T.; SCHMÜLLING, T.; STEPPUHN, A.; VAN DONGEN, J.; WHITCOMB, S. J.; WURST, S.; ZUTHER, E.; KOPKA, J. Priming and memory of stress responses in organisms lacking a nervous system. **Biological Reviews**, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/brv.12215>. Acesso em: 17 dez. 2025.

KACHROO, A.; KACHROO, P. Fatty acid-derived signals in plant defense. **Annual Review of Phytopathology**, v. 47, p. 153–176, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080508-081820>. Acesso em: 18 dez. 2025.

KIM, H. U. Lipid metabolism in plants. **Plants**, v. 9, n. 7, art. 871, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants9070871>. Acesso em: 17 dez. 2025.

KULBAT, K. The role of phenolic compounds in plant resistance. **Biotechnology and Food Science**, v. 80, n. 2, p. 97-108, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.34658/bfs.2016.80.2.97-108>. Acesso em: 02 jan. 2025.

LIANG, Y.; HUANG, Y.; LIU, C.; CHEN, K.; LI, M. Functions and interaction of plant lipid signalling under abiotic stresses. **Plant Biology**, v. 25, n. 3, p. 361–378, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/plb.13507>. Acesso em: 17 dez. 2025.

LUO, X.; LUO, Y.; XU, A.; KONG, X.; WANG, X.; DENG, Q.; ZHANG, H.; LIN, L.; JIA, Y. Enhancing antioxidant defense systems and regulating fatty acid unsaturation: salicylic acid-mediated alleviation of low-temperature stress in *Pitaya* seedlings. **BMC Plant Biology**, Londres, v. 25, art. 1028, 2025. DOI: 10.1186/s12870-025-07055-y

MACHADO, B. R.; SILVA, P. G. P.; GARDA-BUFFON, J.; SANTOS, L. O. Magnetic fields as inducer of glutathione and peroxidase production by *Saccharomyces cerevisiae*. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 53, p. 1881–1891, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00836-9>. Acesso em: 7 nov. 2025.

MANDAL, M. K.; CHANDA, B.; XIA, Y.; YU, K.; SEKINE, K.; GAO, Q.; SELOTE, D.; KACHROO, A.; KACHROO, P. Glycerol-3-phosphate and systemic immunity. **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1871–1874, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17901>. Acesso em: 17 dez. 2025.

MELLO, J. I.O. **Compostos de reserva de sementes e suas relações com diferentes níveis de sensibilidade à dessecação e ao congelamento**. 2008. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2008. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/pgibt/2013/10/Juliana_Iura_de_Oliveira_Mello_MS.pdf. Acesso em: 7 nov. 2025.

PAULIKIENĖ, S.; BENESEVIČIUS, D.; BENESEVIČIENĖ, K.; ŪKSAS, T. Seed treatment: importance, application, impact, and opportunities for increasing sustainability. **Agronomy**, Basel, v. 15, n. 7, art. 1689, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy15071689>. Acesso em: 04 jan. 2026.

PIETERSE, C. M. J.; ZAMIOUDIS, C.; BERENDSEN, R. L.; WELLER, D. M.; VAN WEES, S. C. M.; BAKKER, P. A. H. M. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 52, p. 347–375, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102340>. Acesso em: 7 nov. 2025.

PINTO-ZEVVALLOS, D. M.; MARTINS, C. B. C.; PELLEGRINO, A. C.; ZARBIN, P. H. G. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. **Química Nova**, v. 36, n. 9, p. 1395–1405, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000900021>. Acesso em: 7 nov. 2025.

RISOLI, S.; COTROZZI, L.; SARROCCO, S.; NUZZACI, M.; PELLEGRINI, E.; VITTI, A. *Trichoderma*-Induced resistance to *Botrytis cinerea* in *Solanum* species: a meta-analysis. **Plants**, v. 11, n. 2, p. 180-194, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11020180>. Acesso em: 26 dez. 2024.

SANCHEZ, J.; MANGAT, P. K.; ANGELES-SHIM, R. B. Weathering the cold: modifying membrane and storage fatty acid composition of seeds to improve cold germination ability in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Agronomy**, v. 9, n. 11, art. 724, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/11/684>. Acesso em: 7 nov. 2025.

SCHALLER, H. The role of sterols in plant growth and development. **Progress in Lipid Research**, v. 42, p. 163–175, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(02\)00047-4](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(02)00047-4). Acesso em: 7 nov. 2025.

SECRETARIA, L. B.; HOFFMAN, E.; BEKKER, M.; JOYCE, D. A contemporary review of preharvest mineral nutrient management and defense elicitor treatments for robust fresh produce. **Horticulturae**, v. 11, n. 6, art. 596, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae11060596>. Acesso em: 7 nov. 2025.

SINGH, S.; SINGH, U. B.; MALVIYA, D.; PAUL, S.; SAHU, P. K.; TRIVEDI, M.; PAUL, D.; SAXENA, A. K. Seed biopriming with microbial inoculant triggers local and systemic defense responses against *Rhizoctonia solani* causing banded leaf and sheath blight in maize (*Zea mays* L.). **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 4, art. 1396, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph17041396>. Acesso em: 6 jan. 2026.

STOENESCU, A. M.; TRANDAFIR, I.; COSMULESCU, S. Determination of phenolic compounds using HPLC-UV method in wild fruit species. **Horticulturae**, v. 8, n. 2, p. 84, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020084>. Acesso em: 13 mai. 2024.

STOUT, M. J. Types and mechanisms of rapidly induced plant resistance to herbivorous arthropods. In: WALTERS, D.; NEWTON, A.; LYON, G. (eds.). **Induced resistance for plant defence: a sustainable approach to crop protection**. Oxford: Blackwell Publishing, 2007. cap. 5, p. 75–98.

TAIBI, O.; BAREDELLONI, V.; BOVE, F.; SCAGLIA, F.; CAFFI, T.; ROSSI, V. Activity of resistance inducers against *Plasmopara viticola* in vineyard. **BIO Web of Conferences**, v. 50, p. 1-4, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20225003003>. Acesso em: 29 dez. 2024.

THIMMAPPA, R.; GEISLER, K.; LOUVEAU, T.; O'MAILLE, P.; OSBOURN, A. Triterpene biosynthesis in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 65, p. 225–257, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120229>. Acesso em: 7 nov. 2025.

TUGIZIMANA, F.; MHLONGO, M. I.; PIATER, L. A.; DUBERY, I. A. Metabolomics in plant priming research: the way forward? **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 6, art. 1759, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms19061759>. Acesso em: 7 nov. 2025.

VALITOVA, J. N.; SULKARNAYEVA, A. G.; MINIBAYEVA, F. V. Plant sterols: diversity, biosynthesis, and physiological functions. **Biochemistry (Moscow)**, v. 81, n. 8, p. 819–834, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/s0006297916080046>. Acesso em: 20 nov. 2025.

VAN HEE, S.; SEGURADO LUCHSINGER, A. E.; CUSUMANO, A.; MASSCHELEIN, J.; JACQUEMYN, H.; LIEVENS, B. The plant-beneficial fungus *Trichoderma harzianum* T22 modulates plant metabolism and negatively affects *Nezara viridula*. **BMC Plant Biology**, Londres, v. 25, art. 615, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06650-3>. Acesso em: 7 nov. 2025.

VORONKOV, A.; IVANOVA, T.. Phylogenetic aspects of higher plant lipid fatty acid

profile. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 26, n. 19, art. 9424, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms26199424>. Acesso em: 19 dez. 2025.

XIAO, R.; ZOU, Y.; GUO, X.; LI, H.; LU, H. Fatty acid desaturases (FADs) modulate multiple lipid metabolism pathways to improve plant resistance. **Molecular Biology Reports**, v. 49, p. 9997–10011, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07568-x>. Acesso em: 19 dez. 2025.

ZHOU, H.; FU, K.; SHEN, Y.; LI, R.; SU, Y.; DENG, Y.; XIA, Y.; ZHANG, N. Physiological and biochemical mechanisms of wood vinegar-induced stress response against tomato *Fusarium* wilt disease. **Plants**, v. 13, n. 2, art. 157, 2024a. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13020157>. Acesso em: 7 nov. 2025.

ZHOU, H.; SHEN, Y.; ZHANG, N.; LIU, Z.; BAO, L.; XIA, Y. Wood fiber biomass pyrolysis solution as a potential tool for plant disease management: a review. **Heliyon**, Amsterdam, v. 10, n. 3, e25509, 2024b. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)01540-8](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)01540-8). Acesso em: 7 nov. 2025.

CONCLUSÕES GERAIS

O presente trabalho partiu da hipótese de que a aplicação de produtos alternativos e indutores de resistência, via tratamento de sementes e aplicação foliar, podem ativar mecanismos de defesa em plantas de feijão, refletindo em alterações fitossanitárias, bioquímicas e metabólicas associadas à redução do progresso da mancha angular (*Pseudocercospora griseola*).

Os resultados mostraram que os produtos avaliados exerceram efeito negativo sobre o desenvolvimento de *Pseudocercospora griseola in vitro*, com redução do crescimento micelial e da esporulação do patógeno. No entanto, quando avaliados em casa de vegetação e em campo, os efeitos sobre a redução da severidade da mancha angular e da antracnose foram inferiores, sendo dependentes da cultivar, da safra e das condições ambientais.

Do ponto de vista bioquímico, a aplicação foliar dos produtos não promoveu indução das enzimas peroxidase e polifenoloxidase.

Por outro lado, as análises cromatográficas evidenciaram que o tratamento de sementes foi capaz de promover alterações no perfil metabólico das plântulas. As respostas foram dependentes da cultivar, com maior sensibilidade da IPR-Uirapuru, especialmente em relação aos ácidos graxos insaturados e ao índice de insaturação lipídica. Essas alterações indicam que os tratamentos podem desencadear respostas metabólicas compatíveis com processos associados à indução de resistência.

De forma geral, a hipótese inicial foi parcialmente confirmada. Houve alteração metabólica associada aos tratamentos, porém essa ativação não foi totalmente consistente com o progresso da doença em condições de casa de vegetação e de campo. Os resultados reforçam que a eficiência de indutores de resistência está diretamente relacionada ao genótipo da cultivar, ao método de aplicação e às condições ambientais.

Assim, o conhecimento integrado entre respostas fitossanitárias, bioquímicas e metabólicas é fundamental para avançar no desenvolvimento de estratégias de manejo efetivas e sustentáveis à mancha angular na cultura do feijão.