

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
NOME DA UNIDADE ACADÊMICA

IARA SABRINE RODRIGUES DE SOUSA

Uso de isolados de *Alternaria* spp. para o controle biológico do Caruru
Amaranthus hybridus e *A. retroflexus*

Monte Carmelo

2026

IARA SABRINE RODRIGUES DE SOUSA

Uso de isolados de *Alternaria* spp. para o controle biológico do Caruru
Amaranthus hybridus e *A. retroflexus*

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia
da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte Carmelo,
como requisito necessário para a
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Área de concentração: Engenharia Agronômica

Orientador: Prof. Dr. Bruno Sérgio Vieira

Coorientador: Prof. Dr. André Luiz Firmino

Monte Carmelo

2026

IARA SABRINE RODRIGUES DE SOUSA

Uso de isolados de *Alternaria* spp. para o controle biológico do Caruru
Amaranthus hybridus e *A. retroflexus*

Trabalho de Conclusão de Curso ou
Dissertação ou Tese apresentado à Faculdade...
ou Instituto... da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel, especialista,
mestre ou doutor em

Área de concentração: Engenharia Agrônômica

Monte Carmelo, 03 de Julho de 2026

Banca Examinadora:

Pr.Dr. Bruno Sérgio Vieira – (UFU)

Pr.Dr. André Luiz Firmino – (UFU)

Mestrando. Mike Sam James Ferreira – (UFU)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder força, coragem e sabedoria ao longo desta caminhada. Em todos os momentos, esteve ao meu lado, guiando meus passos e me fazendo acreditar em meu potencial. Mesmo diante das dificuldades, nunca permitiu que eu duvidasse da minha capacidade de vencer desafios e alcançar meus objetivos.

Aos meus pais, Tereza Rodrigues Batista e Manoel Batista de Sousa, expresso minha eterna gratidão por todo amor, apoio, dedicação e sacrifícios realizados para que eu pudesse concretizar este sonho. Aos meus irmãos e demais familiares, agradeço pelo incentivo constante, pelas palavras de encorajamento e por nunca me deixarem sentir sozinha, mesmo quando a distância se fez presente. Esta conquista também é de vocês.

Aos meus amigos Isabella Fonseca de Oliveira e Antônio da Silva Júnior, agradeço por compartilharem comigo esta jornada acadêmica. Foram anos de aprendizados, desafios, conquistas, alegrias e crescimento. A amizade de vocês tornou os dias mais leves e especiais, transformando-se em uma verdadeira família dentro da universidade.

Ao Prof. Dr. Bruno Sérgio Vieira e ao Prof. Dr. André Luiz Firmino, agradeço pela orientação, apoio, confiança, disponibilidade e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho. Sou grata pelos ensinamentos transmitidos e pela amizade construída ao longo desta trajetória.

Ao Núcleo de Estudos em Controle Biológico (NCBio) e ao Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia (LAMIF), expresso meus sinceros agradecimentos por todo o suporte oferecido ao longo deste trabalho. Agradeço, de forma especial, às Dras. Márcia Ferreira Queiroz e Adryelle Anchieta Sousa, bem como aos mestrandos Werik Pereira Dias e Mike Sam James Ferreira, pela valiosa colaboração, disponibilidade e auxílio nas avaliações realizadas durante a condução dos experimentos.

Ao Programa de Educação Tutorial (PET), que marcou profundamente minha trajetória acadêmica e pessoal, deixo minha gratidão por todas as experiências, aprendizados e oportunidades proporcionadas. Em especial, agradeço ao tutor Prof. Dr. Drausio Honório Moraes, que esteve presente em momentos importantes da minha graduação, sempre com paciência, compreensão e incentivo. Seus ensinamentos ultrapassaram os limites da sala de aula e contribuíram significativamente para minha formação humana e profissional. Com ele aprendi

a importância dos "4 Cs": ter calma, confiar em mim mesma, cultivar a curiosidade e desenvolver a criatividade.

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Monte Carmelo, e ao curso de Agronomia, agradeço pela formação acadêmica de excelência e pelas inúmeras oportunidades de crescimento pessoal e profissional. Também agradeço a todos os técnicos, servidores e colaboradores da instituição que contribuíram, direta ou indiretamente, para minha formação e para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que fizeram parte desta caminhada e que, de alguma forma, contribuíram para que este sonho se tornasse realidade. Cada apoio, incentivo e ensinamento foram fundamentais para a conclusão desta etapa tão importante da minha vida.

RESUMO

As plantas daninhas estão entre os principais fatores que limitam a produtividade agrícola, devido à competição com as culturas por água, luz, nutrientes e espaço. Dentre as espécies de maior importância, destacam-se *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*, amplamente distribuídas em áreas agrícolas e reconhecidas pelo elevado potencial de infestação e competitividade. O manejo dessas espécies é realizado, principalmente, por meio da aplicação de herbicidas químicos. Entretanto, o uso contínuo desses produtos tem contribuído para a seleção de plantas daninhas resistentes, além de provocar preocupações quanto aos impactos ambientais, evidenciando a necessidade de alternativas mais sustentáveis. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de diferentes isolados de *Alternaria* spp. para o controle biológico de *A. hybridus* e *A. retroflexus*. O experimento foi conduzido no Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo. Foram avaliados quatro isolados de *Alternaria* spp. (BANI001, BA031, BANI032 e BANI045), aplicados individualmente em plantas das espécies-alvo em pós-emergência. As avaliações foram realizadas durante sete dias após a inoculação, por meio da observação dos sintomas de clorose, necrose e mortalidade, além da quantificação da população de plantas antes e após a aplicação dos tratamentos. A porcentagem de controle foi estimada utilizando a escala da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, considerando a intensidade dos sintomas e a redução populacional. Os resultados demonstraram diferenças na agressividade dos isolados em relação às espécies avaliadas. O isolado BANI001 apresentou o maior percentual de controle (52%) sobre *A. hybridus*, sendo classificado como de controle moderado. O isolado BANI045 promoveu 43% de controle sobre *A. hybridus*, enquadrado como de controle baixa ou ineficiente. Já o isolado BANI032 apresentou 15% de controle sobre *A. retroflexus*, enquanto o BA031 alcançou 25% de controle, sendo ambos classificados como de baixo ou ineficiente controle. Conclui-se que os isolados de *Alternaria* spp. apresentaram potencial para o controle biológico de *A. hybridus* e *A. retroflexus*, com destaque para os isolados BANI001 sobre *A. hybridus*, que proporcionaram níveis moderados de controle nas condições avaliadas. Esses resultados indicam potencial para a continuidade das pesquisas e para o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis de manejo dessas plantas daninhas.

Palavras-chave: *Alternaria* spp, Amaranthaceae, Bio-herbicida, Fungos, Plantas daninhas.

ABSTRACT

Weeds are among the primary factors limiting agricultural productivity, as they compete with crops for water, light, nutrients, and space. Among the most significant species are *Amaranthus hybridus* and *Amaranthus retroflexus*, which are widely distributed in agricultural areas and are recognized for their high infestation potential and competitiveness. Management of these species relies primarily on the application of chemical herbicides. However, the continuous use of these products has led to the selection of herbicide-resistant weed populations and raised concerns regarding environmental impacts, highlighting the need for more sustainable alternatives. In this context, this study aimed to evaluate the potential of different *Alternaria* spp. isolates for the biological control of *A. hybridus* and *A. retroflexus*. The experiment was conducted at the Microbiology and Phytopathology Laboratory of the Federal University of Uberlândia, Monte Carmelo Campus. Four *Alternaria* spp. isolates (BANI001, BA031, BANI032, and BANI045) were individually applied to post-emergence plants of the target species. Evaluations were conducted seven days after inoculation by observing symptoms of chlorosis, necrosis, and plant mortality, as well as by quantifying the plant population before and after treatment. The percentage of weed control was estimated using the rating scale established by the Brazilian Society of Weed Science, accounting for both symptom severity and population reduction. Results indicated differences in the aggressiveness of the isolates toward the target species. Isolate BANI001 achieved the highest level of control (52%) and was classified as providing moderate control. Isolate BANI045 provided 43% control of *A. hybridus*, also categorized as moderate. In contrast, isolate BANI032 achieved 15% control of *A. retroflexus*, while BA031 reached 25%; both were classified as providing low or ineffective control. It is concluded that *Alternaria* spp. isolates show potential for the biological control of *A. hybridus* and *A. retroflexus*, with BANI001 and BANI045 standing out for providing moderate control under the evaluated conditions. These findings underscore the potential for further studies aimed at developing sustainable weed management strategies.

Keywords: *Alternaria* spp., *Amaranthaceae*, bioherbicide, fungi, weeds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Exemplo de conídios de <i>Alternaria</i> sp.	26
Figura 02. Comparação visual entre plantas de <i>Amaranthus hybridus</i> da testemunha e plantas inoculadas com o isolado BANI001 de <i>Alternaria</i> spp.....	36
Figura 03. Comparação visual entre plantas de <i>Amaranthus retroflexus</i> da testemunha e plantas inoculadas com o isolado BANI001 de <i>Alternaria</i> spp.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Espécies de <i>Amaranthus</i> com registros de resistência a herbicidas de importância agrícola	20
Tabela 02. Classificação da eficiência bio-herbicida dos isolados de <i>Alternaria</i> spp. sobre <i>Amaranthus hybridus</i> e <i>Amaranthus retroflexus</i> , adaptada da SBCPD (1995)	34
Tabela 03. Agressividade dos isolados de <i>Alternaria</i> spp. sobre <i>Amaranthus hybridus</i>	35
Tabela 04. Agressividade dos isolados de <i>Alternaria</i> spp. sobre <i>Amaranthus retroflexus</i>	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1. Objetivo Geral	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1. Gênero de <i>Amaranthus</i>	15
3.1.1. <i>Amaranthus hybridus</i>	16
3.1.2. <i>Amaranthus retroflexus</i>	17
3.2. Influência dos Herbicidas nas Espécies de <i>Amaranthus</i> , Resistência e Pressão de Seleção	19
3.3. Uso de Bio-herbicidas em Plantas Daninhas	21
3.4. Fungos Fitopatogênicos como Agentes Bio-herbicidas	24
3.5. O gênero <i>Alternaria</i>	25
3.5.1. Potencial de <i>Alternaria</i> spp. no Controle de Plantas Daninhas.....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1. Local de condução do experimento	28
4.2. Produção das mudas de <i>Amaranthus</i> spp.	28
4.3. Origem e multiplicação dos isolados de <i>Alternaria</i> spp.	30
4.4. Caracterização experimental	31
4.5. Produção do inóculo	31
4.6. Inoculação dos isolados	32
4.7. Avaliação	33
4.8. Avaliação da agressividade dos isolados	34
5. RESULTADOS	34
5.1. Agressividade dos isolados de <i>Alternaria</i> spp. sobre <i>Amaranthus hybridus</i>	35
5.2. Agressividade dos isolados de <i>Alternaria</i> spp. sobre <i>Amaranthus retroflexus</i>	36
5.3. Comparação da agressividade dos isolados de <i>Alternaria</i> spp. sobre <i>Amaranthus hybridus</i> e <i>A. retroflexus</i>	39

6. DISCUSSÕES	38
7. CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

As plantas daninhas estão entre os principais fatores responsáveis pela redução da produtividade agrícola em diferentes sistemas de cultivo. Essas espécies, segundo Monquero (2014), competem com as culturas por recursos essenciais, como água, luz, nutrientes e espaço, além de atuarem como hospedeiras de pragas e fitopatógenos, dificultando o manejo das lavouras. Como consequência, provocam redução no crescimento e no desenvolvimento das plantas cultivadas, comprometendo a produtividade e aumentando os custos de produção (Yanniccari et al, 2022).

Entre as plantas daninhas de maior importância econômica destaca-se o gênero *Amaranthus*, popularmente conhecido como caruru. As espécies do gênero *Amaranthus* destacam-se pela elevada capacidade adaptativa, atribuída ao metabolismo fotossintético C4, ao rápido crescimento, à elevada produção de sementes e à alta competitividade por recursos ambientais, características que favorecem sua persistência em áreas agrícolas (Brighenti e Oliveira, 2011). As espécies desse gênero apresentam características que favorecem sua adaptação aos sistemas agrícolas, como metabolismo fotossintético C4, crescimento acelerado, elevada capacidade competitiva e alta produção de sementes, fatores que contribuem para sua ampla disseminação e persistência no ambiente.

Além disso, Brighenti e Oliveira (2011), também complementam que dentre as espécies mais relevantes destacam-se *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*, amplamente distribuídas em áreas agrícolas e consideradas importantes infestantes de culturas como soja, milho, algodão e feijão. Essas espécies possuem ciclo anual, reprodução exclusivamente por sementes e elevado potencial reprodutivo, sendo capazes de produzir centenas de milhares de sementes por planta, que podem permanecer viáveis no solo por vários anos e formar extensos bancos de sementes. Além disso, o metabolismo fotossintético C4 confere maior eficiência fotossintética e melhor utilização da água em condições de elevada temperatura e intensidade luminosa, favorecendo a competitividade dessas espécies em relação a muitas culturas de metabolismo C3.

O manejo de espécies de *Amaranthus* pode ser realizado por meio de diferentes estratégias de controle, incluindo métodos preventivos, culturais, mecânicos, químicos e biológicos. Entre essas alternativas, Oliveira Júnior et al., 2011), afirma que o controle químico permanece como a principal ferramenta utilizada pelos produtores devido à elevada eficiência,

rapidez de ação e facilidade de aplicação em grandes áreas. Entretanto, a utilização contínua e repetitiva de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação tem favorecido a seleção de biótipos resistentes, reduzindo progressivamente a eficácia desses produtos e tornando o manejo das plantas daninhas cada vez mais complexo (Heap, 2025).

O gênero *Amaranthus*, ainda de acordo com Heap (2025), apresenta atualmente um dos maiores números de casos de resistência a herbicidas registrados mundialmente. Populações de *A. hybridus* resistentes ao glifosato e a herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), assim como populações de *A. retroflexus* resistentes à atrazina, ao fomesafen e a outros mecanismos de ação, já foram relatadas em diferentes países, incluindo o Brasil. Esse cenário reforça a necessidade do desenvolvimento de estratégias complementares que reduzam a dependência do controle químico e contribuam para um manejo mais sustentável das plantas daninhas.

Nesse contexto, o controle biológico tem despertado crescente interesse como alternativa para integrar programas de manejo de plantas daninhas. Essa estratégia baseia-se na utilização de organismos vivos ou de seus metabólitos capazes de reduzir o crescimento, a sobrevivência ou a capacidade competitiva das espécies infestantes. Entre os agentes biológicos estudados, os fungos fitopatogênicos destacam-se pelo potencial de infectar tecidos vegetais, provocar doenças e comprometer o desenvolvimento das plantas hospedeiras, sendo considerados importantes candidatos para o desenvolvimento de bio-herbicidas (Bailey, 2014).

Entre os fungos com potencial para essa finalidade, espécies do gênero *Alternaria* têm recebido atenção devido à capacidade de colonizar diferentes hospedeiros e induzir sintomas como clorose, necrose, murcha e morte de tecidos vegetais. Diversas espécies desse gênero estão associadas a doenças foliares em plantas cultivadas e em plantas daninhas de importância econômica. Um dos exemplos mais conhecidos é o desenvolvimento de um bio-herbicida à base de *Alternaria cassiae* para o controle de *Senna obtusifolia* nos Estados Unidos, demonstrando a viabilidade da utilização de fungos fitopatogênicos no manejo biológico de plantas infestantes (Charudattan, 2001). Estudos mais recentes, como de Kaur e Aggarwal (2017), também indicam que isolados de *Alternaria* apresentam potencial para utilização como bio-herbicidas, embora sua eficiência possa variar em função da espécie-alvo, das condições ambientais e da variabilidade genética dos isolados.

Apesar dos avanços obtidos no desenvolvimento de bio-herbicidas, ainda são escassas as informações sobre a eficiência de isolados de *Alternaria* spp. no controle de *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*. Dessa forma, estudos que avaliem a patogenicidade e o potencial desses fungos podem contribuir para o desenvolvimento de alternativas ambientalmente seguras e sustentáveis para o manejo dessas importantes plantas daninhas.

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes isolados de *Alternaria* spp. como potenciais bio-herbicidas no controle de *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o potencial de diferentes isolados de *Alternaria* spp. como potenciais bio-herbicidas para o controle das plantas daninhas *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*.

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a capacidade dos isolados BANI001, BA031, BANI032 e BANI045 de induzir sintomas em *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*, tais como clorose, necrose e morte de planta.
- Determinar o efeito dos diferentes isolados sobre a mortalidade das plantas avaliadas.
- Quantificar a redução populacional de *A. hybridus* e *A. retroflexus* após a aplicação dos isolados de *Alternaria* sp.
- Comparar a agressividade dos isolados quanto à capacidade de controle das espécies estudadas.
- Selecionar o isolado com maior potencial de eficiência como bio-herbicida para o manejo de *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Gênero de *Amaranthus*

O gênero *Amaranthus* pertence à família Amaranthaceae e compreende aproximadamente 60 a 70 espécies distribuídas em regiões tropicais, subtropicais e temperadas do mundo. Embora algumas espécies sejam utilizadas para alimentação humana e fins ornamentais, diversas espécies são reconhecidas como importantes plantas daninhas em sistemas agrícolas devido à elevada capacidade de adaptação e colonização de diferentes ambientes (Sauer, 1967; Kissmann e Groth, 1999).

As espécies do gênero, de acordo com Carvalho e Christoffoleti (2007), apresentam características biológicas que favorecem sua sobrevivência e disseminação em áreas cultivadas, incluindo metabolismo fotossintético C4, crescimento rápido e elevada habilidade competitiva, interferindo diretamente no desenvolvimento das culturas agrícolas. A competição exercida por essas espécies pode resultar em reduções significativas na produtividade devido à disputa por água, luz, nutrientes e espaço, especialmente quando presentes nos estádios iniciais de desenvolvimento das culturas.

Segundo Adegas et al. (2022), as plantas daninhas constituem um dos principais fatores responsáveis pela redução da produtividade agrícola, ocasionando perdas decorrentes da competição por água, luz, nutrientes e espaço, além de dificultarem operações de colheita e elevarem os custos de produção. Entre as espécies consideradas de maior importância econômica para a agricultura brasileira destaca-se o gênero *Amaranthus*, frequentemente listado entre as principais plantas daninhas que infestam culturas anuais como soja, milho, algodão, feijão e hortaliças (Heap, 2025). Essa relevância está associada, de acordo com Oliveira Júnior et al. (2011), à elevada capacidade adaptativa, rápida disseminação, alta produção de sementes e crescente ocorrência de populações resistentes a diferentes mecanismos de ação de herbicidas.

Em condições favoráveis de elevada disponibilidade de luz, temperaturas entre 25 e 35 °C, solos com boa disponibilidade de nutrientes, umidade adequada e reduzida competição interespecífica, espécies do gênero *Amaranthus* apresentam rápido crescimento vegetativo, elevada taxa fotossintética, intensa emissão de inflorescências e alta produção de sementes. Essas características favorecem o estabelecimento da espécie em diferentes sistemas agrícolas e contribuem para sua elevada capacidade de infestação e persistência nas áreas cultivadas

(Ward et al., 2013). Dependendo da espécie e das condições ambientais, uma única planta pode produzir entre 100.000 e mais de 500.000 sementes, que apresentam elevada viabilidade e capacidade de permanência no banco de sementes do solo durante vários anos (Costea; et al., 2004). Segundo Steckel (2017), essa elevada fecundidade favorece a rápida reinfestação das áreas agrícolas e dificulta significativamente o manejo das populações.

Outro aspecto relevante, descrito por Norsworthy et al. (2012), é a crescente ocorrência de populações de *Amaranthus* com resistência a herbicidas, fenômeno amplamente documentado em diferentes espécies do gênero e que tem dificultado o manejo químico em áreas agrícolas. Esse cenário reforça a necessidade de estratégias integradas de controle, com uso combinado de métodos químicos, culturais e preventivos.

Dessa forma, o conhecimento da biologia, ecologia e comportamento competitivo de *A. hybridus* e *A. retroflexus* é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficientes de manejo, especialmente aquelas voltadas para métodos alternativos e sustentáveis de controle, como o uso de agentes biológicos.

3.1.1. *Amaranthus hybridus*

Morfologicamente, *Amaranthus hybridus* caracteriza-se por ser uma planta herbácea anual, ereta, podendo atingir entre 0,5 e 2,0 m de altura. Apresenta caule cilíndrico, frequentemente ramificado, com coloração variando entre verde e avermelhada. As folhas são simples, alternas, pecioladas, ovadas a romboides, com ápice agudo e margens inteiras. As inflorescências são terminais e axilares, formando espigas densas compostas por numerosas flores pequenas de coloração esverdeada. Os frutos são do tipo pixídio e contêm sementes pequenas, lenticulares e de coloração escura, características importantes para sua identificação em campo e diferenciação de outras espécies do gênero (Flora e Funga do Brasil, 2025).

No Brasil, *A. hybridus* apresenta ampla distribuição geográfica, ainda de acordo com a Flora e Funga do Brasil (2025), ocorrendo em praticamente todas as regiões produtoras do país. Sua presença é frequentemente registrada nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Bahia, sendo menos frequente em áreas de clima mais frio e em regiões de vegetação predominantemente amazônica, onde outras espécies do gênero podem apresentar maior ocorrência. Essa ampla distribuição demonstra a elevada plasticidade ecológica da espécie e sua capacidade de adaptação a diferentes sistemas agrícolas.

A espécie apresenta metabolismo fotossintético C4, crescimento rápido e elevada capacidade de produção de sementes, características que favorecem sua adaptação a diferentes ambientes e sua permanência em áreas cultivadas. Em elevadas densidades populacionais, *A. hybridus* compete intensamente por água, luz, nutrientes e espaço, podendo provocar reduções superiores a 50% na produtividade da soja e do milho quando o manejo não é realizado adequadamente (Steckel, 2007). Além das perdas diretas de produtividade, sua presença aumenta significativamente os custos de produção em função da necessidade de aplicações adicionais de herbicidas e de outras práticas de manejo (Oliveira Júnior et al., 2011).

O metabolismo fotossintético C4, de acordo com Taiz et al. (2017), constitui uma importante vantagem competitiva das espécies do gênero *Amaranthus*. Diferentemente das plantas C3, as espécies com metabolismo C4 apresentam um mecanismo de concentração de CO₂ nas células da bainha do feixe vascular, reduzindo significativamente as perdas por fotorrespiração. Sage e Zhu (2011) pontuam que essa característica proporciona maior eficiência fotossintética, especialmente sob condições de elevadas temperaturas, alta intensidade luminosa e disponibilidade limitada de água, resultando em maior eficiência no uso da água, maior produção de biomassa e rápido crescimento, fatores que favorecem sua adaptação e competitividade em ambientes agrícolas.

Outro aspecto de grande importância ecológica é a formação do banco de sementes no solo. Para Yanniccari et al, 2022), as sementes de espécies do gênero *Amaranthus* apresentam elevada longevidade e podem permanecer viáveis por vários anos, formando bancos de sementes persistentes que favorecem a emergência escalonada de plântulas ao longo dos ciclos de cultivo. Essa característica dificulta o controle da espécie, uma vez que novas plantas podem emergir mesmo após aplicações de herbicidas ou operações mecânicas. Dessa forma, programas de manejo integrado devem priorizar estratégias que reduzam continuamente o aporte de novas sementes ao solo, visando diminuir gradativamente o banco de sementes e a pressão de infestação nas áreas agrícolas (Baskin e Baskin, 2014).

3.1.2. *Amaranthus retroflexus*

Amaranthus retroflexus L., conhecido popularmente como caruru-gigante ou caruru-vermelho, é uma espécie anual amplamente distribuída em regiões agrícolas de clima tropical e temperado. Embora seja originária da América do Norte, atualmente encontra-se disseminada em diversas regiões produtoras do mundo (Sauer, 1967).

Morfologicamente, *Amaranthus retroflexus* L., segundo Braz e Takano (2022) é uma espécie herbácea anual, ereta, que pode atingir entre 0,3 e 2,0 m de altura, dependendo das condições edafoclimáticas e da competição interespecífica. O caule apresenta coloração verde a avermelhada, geralmente recoberto por tricomas curtos, característica que auxilia na diferenciação em relação a outras espécies do gênero. As folhas são alternas, pecioladas, de formato ovalado a romboide, com margens inteiras e nervuras bem evidentes. As inflorescências são densas, localizadas na região terminal e nas axilas foliares, constituídas por numerosas flores pequenas de coloração esverdeada. Os frutos são do tipo pixídio e produzem sementes pequenas, lenticulares e de coloração castanho-escuro a negra, favorecendo sua ampla dispersão e permanência no banco de sementes do solo.

Amaranthus retroflexus apresenta elevado vigor vegetativo e grande plasticidade ecológica, de acordo com Oliveira Júnior et al., (2011) desenvolvendo-se preferencialmente em ambientes com alta disponibilidade de radiação solar, temperaturas entre 25 e 35 °C, solos férteis e boa disponibilidade hídrica. Nessas condições, a espécie apresenta rápido crescimento, elevada taxa fotossintética decorrente do metabolismo C4 e intensa produção reprodutiva. Uma única planta pode produzir entre 100.000 e 300.000 sementes, dependendo das condições ambientais e do nível de competição, favorecendo sua rápida disseminação e a formação de bancos de sementes persistentes no solo (Costea; et al.,2004).

No Brasil, segundo Francischini et al. (2014), *A. retroflexus* é frequentemente encontrada infestando lavouras de soja, milho, algodão, feijão e hortaliças, destacando-se especialmente em áreas de cultivo de algodão no Centro-Oeste brasileiro, onde a espécie pode competir intensamente durante os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Em razão de seu rápido crescimento e elevada capacidade competitiva, sua presença reduz a disponibilidade de água, nutrientes e luz para as plantas cultivadas, comprometendo o estabelecimento da cultura e aumentando os custos de manejo.

Francischini et al. (2014) complementa que a elevada competitividade de *A. retroflexus* está diretamente relacionada às perdas econômicas observadas em diferentes culturas agrícolas. Em cultivos de algodão, por exemplo, infestações não controladas podem ocasionar reduções expressivas na produtividade, além de elevar significativamente os custos de produção devido ao aumento do número de aplicações de herbicidas e operações complementares de manejo. Em culturas anuais, espécies do gênero *Amaranthus* estão entre as plantas daninhas de maior impacto econômico, em razão da elevada produção de sementes, rápida taxa de crescimento e

crescente ocorrência de populações resistentes a herbicidas, fatores que dificultam seu controle e comprometem a rentabilidade das áreas agrícolas.

3.2. Influência dos Herbicidas nas Espécies de *Amaranthus*, Resistência e Pressão de Seleção

O controle químico permanece como uma das principais ferramentas empregadas no manejo de plantas daninhas em sistemas agrícolas intensivos. Entretanto, de acordo com De Oliveira et al. (2024) sua eficiência depende da utilização adequada dos herbicidas, incluindo a rotação de mecanismos de ação, o momento correto de aplicação e a integração com outras estratégias de manejo. A adoção repetitiva de herbicidas pertencentes ao mesmo mecanismo de ação favorece a seleção de indivíduos naturalmente menos suscetíveis, acelerando o processo evolutivo da resistência e reduzindo gradativamente a eficiência do controle químico.

Segundo Norsworthy et al. (2012) o uso contínuo e repetitivo de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação tem contribuído para o aumento da pressão de seleção sobre as populações de plantas daninhas. Esse processo favorece a sobrevivência de indivíduos naturalmente resistentes aos herbicidas, que passam a se reproduzir e transmitir essa característica às gerações seguintes, resultando no desenvolvimento de populações resistentes.

As espécies pertencentes ao gênero *Amaranthus* destacam-se entre as plantas daninhas com maior capacidade de evolução da resistência a herbicidas. Essa característica está associada à elevada produção de sementes, ampla variabilidade genética, rápido ciclo de vida e grande capacidade de adaptação a diferentes ambientes agrícolas (Ward et al., 2013).

A resistência a herbicidas dentro do gênero *Amaranthus* não ocorre de maneira uniforme entre as espécies. Lamego et al. (2024), afirma que no Brasil, *Amaranthus hybridus* apresenta registros confirmados de resistência múltipla aos herbicidas inibidores da EPSPS (glyphosate) e da ALS (acetolactato sintase), reduzindo significativamente a eficiência do controle químico em culturas como soja, milho e algodão. *A. retroflexus*, por sua vez, possui casos confirmados de resistência aos herbicidas inibidores da ALS, dificultando seu manejo em diversas regiões agrícolas (**Tabela 01**). A evolução dessas populações resistentes está associada ao uso repetitivo de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação, favorecendo a seleção de indivíduos capazes de sobreviver às aplicações e transmitir essa característica às gerações seguintes (Francischini et al., 2014).

Tabela 01. Espécies de *Amaranthus* com registros de resistência a herbicidas de importância agrícola.

Espécie	Principais mecanismos de ação com resistência	Situação
<i>Amaranthus hybridus</i>	ALS e EPSPS (glyphosate)	Casos confirmados no Brasil
<i>Amaranthus retroflexus</i>	ALS	Casos confirmados no Brasil
<i>Amaranthus palmeri</i>	ALS, EPSPS, PPO, HPPD, PS II, auxínicos	Principal espécie resistente nos EUA
<i>Amaranthus tuberculatus</i>	ALS, EPSPS, PPO, HPPD, triazinas e outros	Uma das espécies mais resistentes do mundo
<i>Amaranthus spinosus</i>	ALS	Casos pontuais
<i>Amaranthus viridis</i>	EPSPS (alguns registros internacionais)	Distribuição localizada

Fonte: Adaptado de Heap (2025); De Oliveira et al. (2024); Lamego et al. (2024).

Entre as espécies do gênero, *A. hybridus* e *A. retroflexus* apresentam elevada importância para a agricultura brasileira devido à ampla distribuição geográfica e à crescente ocorrência de populações resistentes aos herbicidas inibidores da ALS e da EPSPS. Estudos recentes demonstram que populações brasileiras de *A. hybridus* já apresentam resistência múltipla aos herbicidas glyphosate, chlorimuron e imazethapyr, reduzindo significativamente a eficiência do controle químico e reforçando a necessidade de adoção do manejo integrado de plantas daninhas. (De Oliveira et al., 2024.)

Em escala mundial, Gazziero et al. (2023), pontuam que duas espécies do gênero merecem destaque devido ao elevado potencial invasivo e à ampla resistência a herbicidas: *Amaranthus palmeri* e *Amaranthus tuberculatus*. Ambas são consideradas entre as plantas daninhas de maior impacto econômico na agricultura norte-americana, apresentando crescimento acelerado, elevada produção de sementes, grande variabilidade genética e capacidade de desenvolver resistência simultânea a diversos mecanismos de ação de herbicidas. No Brasil, *A. palmeri* foi identificado inicialmente no estado de Mato Grosso em 2015, sendo posteriormente detectado em áreas do Mato Grosso do Sul, fato que motivou medidas oficiais de contenção e monitoramento fitossanitário devido ao elevado risco de disseminação da espécie.

A presença de espécies resistentes do gênero *Amaranthus* acarreta aumento expressivo dos custos de produção agrícola, em razão da necessidade de aplicações adicionais de herbicidas, utilização de misturas de ingredientes ativos, adoção de controle mecânico e implementação de práticas culturais complementares. Além dos custos diretos de manejo, infestações severas podem provocar elevadas perdas de produtividade. Ainda de acordo com Gazziero et al. (2023) em seus estudos, demonstraram reduções de até 79% na produtividade da soja, 91% no milho e 77% no algodão em áreas infestadas por *A. palmeri* quando não há controle adequado, evidenciando o elevado impacto econômico dessa planta daninha.

A resistência aos herbicidas representa um dos principais desafios para a agricultura contemporânea, uma vez que reduz a eficiência dos métodos convencionais de controle, aumenta os custos de produção e limita as opções de manejo disponíveis aos produtores. Nesse contexto, torna-se fundamental a adoção de programas de manejo integrado de plantas daninhas, combinando métodos culturais, mecânicos, químicos e biológicos, visando reduzir a pressão de seleção e aumentar a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Norsworthy et al., 2012).

Diante desse cenário, o controle biológico utilizando fungos fitopatogênicos com potencial bio-herbicida tem despertado crescente interesse como alternativa complementar ao controle químico, contribuindo para a redução da dependência de herbicidas sintéticos e para o manejo sustentável de espécies infestantes.

3.3. Uso de Bio-herbicidas em Plantas Daninhas

A crescente preocupação com os impactos ambientais, agronômicos e econômicos negativos decorrentes do uso intensivo de herbicidas químicos, associada ao aumento da resistência de plantas daninhas aos principais mecanismos de ação, tem impulsionado o desenvolvimento de estratégias alternativas para o manejo dessas espécies. Entre essas estratégias destacam-se os bio-herbicidas, considerados importantes ferramentas para programas de manejo integrado de plantas daninhas (Duke, 2012).

Entre os impactos ambientais, Aneja (2024) destacam-se a contaminação do solo e dos recursos hídricos, alterações na microbiota do solo, efeitos sobre organismos não alvo e redução da biodiversidade em ecossistemas agrícolas. Sob o ponto de vista agronômico, a utilização repetitiva dos mesmos mecanismos de ação favorece a seleção de populações resistentes, reduzindo a eficiência dos herbicidas disponíveis. Do ponto de vista econômico, a resistência

resulta em aumento dos custos de produção, necessidade de aplicações adicionais, redução da produtividade e menor rentabilidade das propriedades rurais. Esses fatores reforçam a necessidade de estratégias sustentáveis que reduzam a dependência exclusiva do controle químico.

O conceito de bio-herbicida, segundo Raza et al. (2025), começou a ganhar destaque nas décadas de 1970 e 1980, quando pesquisas demonstraram o potencial de fungos fitopatogênicos para o controle seletivo de plantas daninhas. Um marco importante foi o lançamento do Collego®, registrado nos Estados Unidos em 1982 e formulado a partir de *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene*, destinado ao controle de *Aeschynomene virginica* em lavouras de arroz e soja. Posteriormente, outros agentes biológicos foram estudados para diferentes espécies infestantes, consolidando os bio-herbicidas como uma alternativa promissora dentro do manejo integrado de plantas daninhas. No Brasil, embora diversos fungos apresentem potencial para utilização como bio-herbicidas, a adoção comercial ainda é limitada, sendo a maior parte das pesquisas direcionada à seleção de isolados mais agressivos, desenvolvimento de formulações estáveis e avaliação da eficiência em condições de campo (Aneja, 2024).

Os bio-herbicidas são produtos formulados a partir de organismos vivos ou de seus metabólitos, capazes de causar danos às plantas daninhas e reduzir seu crescimento, desenvolvimento ou sobrevivência. Entre os agentes biológicos estudados, os fungos fitopatogênicos destacam-se devido à sua capacidade de infectar tecidos vegetais, provocar doenças e comprometer o desenvolvimento das espécies-alvo (Bailey, 2014).

O desenvolvimento de um bio-herbicida, de acordo com Ocán-Torres et al. (2024) envolve diversas etapas sequenciais, iniciando-se pela prospecção e isolamento de microrganismos com potencial fitopatogênico, seguida pela identificação taxonômica, avaliação da patogenicidade, determinação da agressividade sobre a espécie-alvo, estudos de especificidade de hospedeiro, produção massal de inóculo, desenvolvimento de formulações, testes em casa de vegetação e validação em condições de campo. Somente após essas etapas é possível avaliar a viabilidade técnica e comercial do agente biológico. Entre todas as fases, a seleção de isolados com elevada agressividade e elevada especificidade é considerada uma das etapas mais críticas, pois determina o potencial de controle da planta daninha e a segurança do futuro bio-herbicida em relação às espécies não alvo.

O desenvolvimento de bio-herbicidas já resultou em produtos comerciais utilizados em diferentes países. Além do Collego® (atualmente comercializado como LockDown®), que já foi citado, outros exemplos incluem BioMal®, formulado com *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae* para o controle de *Malva pusilla*, e Sarritor®, baseado em *Sclerotinia minor* para o manejo de plantas daninhas em gramados. Esses casos demonstram que fungos fitopatogênicos podem ser utilizados de forma eficiente e segura quando apresentam elevada especificidade e estabilidade operacional (Bourdôt et al., 2024).

A ação dos fungos utilizados como bio-herbicidas, para Braz e Takano (2022), está relacionada à colonização dos tecidos vegetais e à produção de compostos fitotóxicos capazes de induzir sintomas como clorose, necrose, redução do crescimento e morte das plantas. Essas características tornam esses microrganismos potenciais agentes para o controle biológico de diversas espécies de plantas daninhas.

A especificidade constitui uma das principais vantagens dos bio-herbicidas microbianos quando comparados aos herbicidas sintéticos. De acordo com Ocán-Torres et al., (2024), agentes altamente específicos infectam apenas determinadas espécies ou grupos taxonomicamente próximos, reduzindo significativamente os riscos de danos às culturas agrícolas, às plantas nativas e aos organismos não alvo. Entretanto, níveis muito elevados de especificidade também podem limitar a utilização comercial desses produtos, principalmente em áreas onde ocorrem comunidades compostas por diversas espécies de plantas daninhas. Dessa forma, o equilíbrio entre agressividade e especificidade representa um dos principais desafios para o desenvolvimento de bio-herbicidas eficientes e ambientalmente seguros.

Um dos exemplos mais relevantes envolvendo o controle biológico de espécies do gênero *Amaranthus* é o fungo *Microsphaeropsis amaranthi*. Segundo Smith e Hallett (2006), desde a década de 1990, esse patógeno vem sendo estudado como candidato a bio-herbicida devido à elevada especificidade para espécies de *Amaranthus*, incluindo *A. hybridus*, *A. retroflexus* e *A. tuberculatus*. Apesar dos resultados promissores em condições controladas, sua utilização comercial ainda não foi consolidada em razão da elevada dependência das condições ambientais, especialmente umidade e período de molhamento foliar, além da variabilidade da agressividade observada entre diferentes isolados. Estudos posteriores, como Shabana et al. (2010), demonstraram que modificações na produção do inóculo e na formulação aumentaram significativamente a agressividade do fungo, reforçando a importância da seleção de isolados e do desenvolvimento tecnológico durante a produção de bio-herbicidas.

Nos últimos anos, diversos estudos, como de Ocán-Torres et al., (2024) têm buscado aumentar a eficiência dos bio-herbicidas por meio da seleção de isolados mais agressivos, da utilização de metabólitos fitotóxicos livres de células, do desenvolvimento de formulações mais estáveis e da combinação entre agentes biológicos e métodos convencionais de manejo. Revisões recentes indicam que essas estratégias representam uma das principais tendências para ampliar a adoção comercial dos bio-herbicidas e reduzir a dependência dos herbicidas sintéticos, contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis.

Mesmo diante dessas limitações, os bio-herbicidas representam uma alternativa sustentável e compatível com os princípios do manejo integrado de plantas daninhas, contribuindo para a diversificação das estratégias de controle e para a redução da dependência exclusiva dos herbicidas químicos.

3.4. Fungos Fitopatogênicos como Agentes Bio-herbicidas

Os fungos fitopatogênicos apresentam elevada diversidade fisiológica e bioquímica, produzindo enzimas hidrolíticas, reguladores de crescimento vegetal e metabólitos secundários capazes de alterar profundamente o metabolismo das plantas hospedeiras. Esses mecanismos podem comprometer processos fisiológicos como fotossíntese, respiração, transporte de água, integridade das membranas celulares e divisão celular, resultando na redução do crescimento ou morte da planta infestante. (Charudattan, 2001).

O processo de infecção, segundo Agrios (2005), ocorre quando estruturas do fungo, como esporos ou fragmentos de micélio, entram em contato com a superfície da planta suscetível. Em condições favoráveis de temperatura e umidade, o patógeno germina, penetra nos tecidos vegetais e inicia sua colonização, causando alterações fisiológicas e estruturais que podem reduzir o crescimento e a sobrevivência das plantas daninhas.

A manifestação da doença causada por fungos fitopatogênicos não se restringe à ocorrência de clorose e necrose. Para Raza et al. (2025), dependendo da interação entre isolado, hospedeiro e ambiente, podem ocorrer murcha, redução da área foliar, deformações, queda prematura de folhas, inibição do crescimento radicular, diminuição da biomassa seca, redução da capacidade fotossintética e comprometimento da produção de sementes. A intensidade desses sintomas está diretamente relacionada ao nível de agressividade do isolado, variável que representa um dos principais parâmetros utilizados na seleção de candidatos a bio-herbicidas.

Assim, estudos que quantificam agressividade, incidência e progresso da doença fornecem informações fundamentais para a escolha dos isolados mais promissores.

O potencial desses microrganismos para o controle de plantas daninhas tem sido amplamente investigado devido à necessidade de alternativas mais sustentáveis aos herbicidas químicos. Diversos gêneros de fungos têm sido avaliados como agentes bio-herbicidas, incluindo *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Phoma*, *Sclerotinia* e *Alternaria*, apresentando resultados promissores no controle de diferentes espécies infestantes (Bailey, 2014).

Entre as principais vantagens da utilização de fungos fitopatogênicos destacam-se a redução da dependência de herbicidas sintéticos, o menor impacto ambiental, a possibilidade de integração com outras práticas de manejo e a menor probabilidade de seleção de populações resistentes quando comparados ao uso contínuo de herbicidas químicos (Ash, 2010).

Entretanto, Bailey (2014) coloca que a eficiência dos bio-herbicidas pode ser influenciada por fatores como condições ambientais, virulência dos isolados, especificidade do hospedeiro e métodos de aplicação. Dessa forma, a seleção de isolados com elevada capacidade de infecção e adaptação às condições de cultivo é fundamental para o sucesso do controle biológico.

Nesse contexto, os fungos fitopatogênicos representam uma alternativa promissora para o desenvolvimento de bio-herbicidas, contribuindo para sistemas agrícolas mais sustentáveis e ampliando as opções disponíveis para o manejo integrado de plantas daninhas.

3.5. O gênero *Alternaria*

O gênero *Alternaria* pertence ao filo Ascomycota, classe Dothideomycetes, ordem Pleosporales e família Pleosporaceae. Esse gênero, segundo Woudenberg et al. (2013), compreende numerosas espécies de fungos amplamente distribuídas em diferentes regiões do mundo, sendo frequentemente encontradas em ambientes agrícolas, florestais e urbanos. Muitas espécies apresentam hábito saprofítico, vivendo sobre matéria orgânica em decomposição, enquanto outras atuam como importantes patógenos de plantas cultivadas e espontâneas.

Espécies de *Alternaria* são conhecidas por causar diversas doenças em plantas de interesse agrícola, incluindo manchas foliares, queimas, necroses, podridões e tombamento de plantas. Essas doenças podem comprometer o desenvolvimento vegetal e reduzir

significativamente a produtividade de diversas culturas agrícolas, como tomate, batata, cenoura, citros, algodão e hortaliças em geral (Thomma, 2003; Agrios, 2005).

Os fungos desse gênero, de acordo com Barnett e Hunter (1998), apresentam crescimento rápido em meios de cultura e produzem abundante micélio de coloração variando entre cinza, oliva e escura (**Figura 01**). Sua principal característica morfológica é a produção de conídios multicelulares, geralmente pigmentados, com septos transversais e longitudinais, frequentemente organizados em cadeias. Essas estruturas favorecem a disseminação do fungo pelo vento, pela água e por restos culturais presentes no ambiente.

Figura 01. Exemplo de conídios de *Alternaria* sp.



Fonte: Adaptado de Revista Cultivar (2020).

O processo de infecção ocorre principalmente por meio da germinação dos conídios sobre a superfície vegetal. Após a germinação, o fungo pode penetrar nos tecidos da planta através de aberturas naturais, ferimentos ou diretamente pela epiderme. Uma vez estabelecido no hospedeiro, o patógeno produz enzimas e compostos fitotóxicos que promovem a degradação celular e o desenvolvimento dos sintomas característicos da doença (Agrios, 2005).

Além dos danos causados às culturas agrícolas, Meena et al. (2017) colocam que as espécies de *Alternaria* têm despertado interesse científico devido à capacidade de produzir metabólitos secundários biologicamente ativos. Muitos desses compostos apresentam ação fitotóxica, antimicrobiana e enzimática, sendo estudados para aplicações na agricultura, incluindo o desenvolvimento de agentes de controle biológico e bio-herbicidas.

No Brasil, espécies de *Alternaria* são frequentemente relatadas associadas a doenças em culturas agrícolas de importância econômica. Estudos realizados em diferentes regiões do país demonstram a ampla distribuição desse gênero e sua relevância fitopatológica em sistemas de produção vegetal, reforçando a importância de pesquisas voltadas à compreensão de sua biologia, patogenicidade e potencial biotecnológico (Reis et al, 2006).

Dessa forma, o gênero *Alternaria* destaca-se tanto pela sua importância como agente causador de doenças em plantas quanto pelo potencial de utilização em programas de controle biológico, especialmente em estudos que buscam alternativas sustentáveis para o manejo de organismos indesejáveis em sistemas agrícolas.

3.5.1. Potencial de *Alternaria* sp. no Controle de Plantas Daninhas

O gênero *Alternaria*, de acordo com Thomma (2003), compreende fungos amplamente distribuídos no ambiente, sendo conhecido principalmente por incluir espécies fitopatogênicas capazes de causar doenças em diversas culturas agrícolas. Além de sua importância na fitopatologia, diferentes espécies desse gênero têm sido estudadas quanto ao potencial de utilização no controle biológico de plantas daninhas, devido à capacidade de infectar tecidos vegetais e provocar sintomas que comprometem o crescimento e a sobrevivência das plantas hospedeiras (Charudattan, 2001).

Para Kaur e Aggarwal (2017), o interesse na utilização de *Alternaria* sp. como bio-herbicida está relacionado à sua capacidade de colonizar tecidos vegetais e produzir substâncias fitotóxicas que favorecem o desenvolvimento de sintomas como clorose, necrose e morte de tecidos. Esses efeitos, segundo Thomma (2003), podem reduzir a área fotossintética das plantas, comprometendo seu desenvolvimento e sua capacidade competitiva no ambiente agrícola.

Estudos realizados com diferentes espécies e isolados de *Alternaria* demonstram que esses fungos podem apresentar elevada agressividade sobre determinadas plantas daninhas, causando redução do crescimento, da biomassa e da sobrevivência das plantas daninhas. Segundo Braz e Takano (2022), fungos fitopatogênicos com potencial bio-herbicida representam uma alternativa promissora para complementar os métodos convencionais de manejo, especialmente em sistemas que buscam reduzir a dependência de herbicidas químicos.

Embora os resultados obtidos com espécies de *Alternaria* sejam promissores, a eficiência dos isolados pode variar em função da espécie hospedeira, das condições ambientais

e das características genéticas do fungo. Fatores como temperatura, umidade e período de molhamento foliar podem influenciar diretamente o processo de infecção e o desenvolvimento dos sintomas, afetando a eficiência do controle biológico (Duke, 2012).

Dessa forma, a seleção de isolados com maior capacidade de infecção e agressividade constitui uma etapa fundamental para o desenvolvimento de bio-herbicidas à base de *Alternaria* spp. Nesse contexto, estudos que avaliem a interação entre diferentes isolados e espécies de plantas daninhas tornam-se importantes para ampliar o conhecimento sobre o potencial desses fungos como ferramentas de manejo sustentável. Assim, a avaliação de isolados de *Alternaria* spp. sobre *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus* pode contribuir para a identificação de agentes com potencial de utilização em programas de manejo integrado de plantas daninhas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local de condução do experimento

O experimento foi conduzido no LAMIF (Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia da Universidade Federal de Uberlândia/Campus Monte Carmelo) e na câmara de crescimento de plantas (Anexo do LAMIF).

4.2. Produção das mudas de *Amaranthus* spp.

Para a produção das plantas utilizadas no experimento, foi preparado um substrato composto por solo argiloso, solo arenoso e substrato comercial, na proporção de 1:1:1. Após a homogeneização, o substrato foi peneirado para a remoção de torrões e impurezas, visando proporcionar maior uniformidade física ao material. Em seguida, foi esterilizado em autoclave, em temperatura de trabalho de 120 °C, durante 1 hora. Após a autoclavagem, o substrato permaneceu acondicionado por 48 horas antes da utilização, com o objetivo de estabilizar suas características físicas e reduzir os efeitos do aquecimento sobre a microbiota residual, conforme procedimentos rotineiramente empregados na produção de mudas em condições experimentais (Dhingra e Sinclair, 1995; Brasil, 2009).

Após permanecer acondicionado por 48 horas, período necessário para estabilização da temperatura e da umidade do substrato esterilizado, realizou-se a semeadura das espécies *Amaranthus hybridus* (caruru-roxo) e *A. retroflexus* (caruru-gigante) em bandejas de

polipropileno contendo 200 células. Previamente à semeadura, as sementes foram submetidas à quebra de dormência por meio da imersão em água aquecida a 80 °C, conforme metodologia descrita por Silva e Lima (2018). Após o aquecimento, as sementes permaneceram na mesma água por 24 horas, permitindo o resfriamento natural da solução. Dessa forma, a água permaneceu quente apenas no início do processo de embebição, não sendo reaquescida durante o período de repouso. O princípio desse método baseia-se no choque térmico inicial, que promove pequenas fissuras no tegumento impermeável, favorecendo a entrada de água e oxigênio. Posteriormente, durante o resfriamento natural, ocorre a embebição das sementes, possibilitando a retomada do metabolismo e a germinação sem causar danos ao embrião (Silva; Lima, 2018)

Após o período de embebição, as sementes foram distribuídas diretamente nas células da bandeja, que foram recobertas com uma fina camada de substrato esterilizado, garantindo sua adequada acomodação e cobertura. Em seguida, foi realizada a irrigação inicial para promover a umidificação do substrato e favorecer o processo de germinação. A emergência das plantas ocorreu aproximadamente quatro dias após a semeadura. As mudas permaneceram em cultivo até atingirem o estágio correspondente ao segundo par de folhas verdadeiras, condição adotada por proporcionar maior uniformidade fisiológica entre as plantas e favorecer a padronização da inoculação dos isolados fúngicos (Agrios, 2005).

As bandejas permaneceram expostas à luz solar natural durante aproximadamente 12 horas diárias, correspondentes ao período diurno. A irrigação foi realizada três vezes ao dia, nos períodos da manhã (6h00), da tarde (17h00) e da noite (22h00), de modo a manter o substrato com umidade adequada para o desenvolvimento das mudas. As plantas foram utilizadas no experimento 23 dias após a semeadura (23 DAS), quando apresentavam desenvolvimento adequado para a realização da inoculação.

A utilização de substrato esterilizado, recipientes individualizados e condições controladas de produção das mudas teve como objetivo reduzir fontes de contaminação, minimizar a variabilidade entre as plantas e proporcionar maior uniformidade experimental durante a avaliação da agressividade dos isolados de *Alternaria* spp., procedimento amplamente recomendado em estudos envolvendo fitopatógenos e ensaios de patogenicidade (Dhingra e Sinclair, 1995; Agrios, 2005).

4.3. Origem e multiplicação dos isolados de *Alternaria* spp.

Foram utilizados quatro isolados de *Alternaria* spp., identificados pelos códigos BANI001, BA031, BANI032 e BANI045, pertencentes à coleção de microrganismos do Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia (LAMIF) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Esses isolados integram um conjunto previamente selecionado de 24 isolados promissores obtidos em estudos anteriores conduzidos pelo laboratório.

Os isolados foram obtidos a partir de plantas do gênero *Amaranthus* que apresentavam sintomas característicos de infecção fúngica, como necrose foliar, clorose, e colonização por micélio. As coletas foram realizadas em áreas agrícolas localizadas nos municípios de Limeira e Sales Oliveira, no estado de São Paulo, Ibiá e Iraí de Minas, no estado de Minas Gerais, e Rio Verde, no estado de Goiás.

Após a coleta, fragmentos de tecidos vegetais sintomáticos foram submetidos ao isolamento em laboratório para obtenção de culturas puras. Os fungos foram identificados com base em suas características morfológicas em nível de gênero e posteriormente preservados em solução salina estéril na micoteca do LAMIF.

Para a multiplicação dos isolados, estes foram cultivados em meio Batata-Dextrose-Ágar (BDA), preparado com 15,96 g de meio comercial para 400 mL de água destilada. Após o preparo, o meio de cultura foi esterilizado em autoclave durante 20 minutos e posteriormente vertido em placas de Petri de 90 mm em câmara de fluxo laminar, previamente esterilizada por luz ultravioleta durante 20 minutos, procedimento adotado para reduzir a contaminação por microrganismos presentes no ambiente (Dhingra e Sinclair, 1995). Após o preparo, as placas permaneceram acondicionadas por 48 horas, permitindo confirmar a ausência de contaminação antes da repicagem dos isolados. Em seguida, os isolados foram repicados para as placas contendo meio BDA e incubados em câmara de crescimento do tipo BOD, a 25 °C, durante sete dias, em fotoperíodo de 12 h luz/12 h escuro, visando o crescimento e desenvolvimento do micélio fúngico.

Os isolados utilizados neste estudo fazem parte da coleção micológica do LAMIF, formada a partir de levantamentos fitopatológicos realizados em diferentes regiões produtoras. Estudos em desenvolvimento no laboratório permitiram o isolamento, a caracterização e os testes preliminares de patogenicidade desses fungos sobre espécies do gênero *Amaranthus*. No presente trabalho, os quatro isolados selecionados foram avaliados quanto à sua agressividade

sobre *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*, visando identificar aqueles com maior potencial para utilização em estudos futuros relacionados ao desenvolvimento de bio-herbicidas.

4.4. Caracterização experimental

O estudo foi conduzido como uma avaliação exploratória da agressividade de isolados de *Alternaria* spp. sobre as espécies *A. hybridus* e *A. retroflexus*. Devido à dificuldade de obtenção de populações uniformes de plantas em condições experimentais, optou-se pela utilização de bandejas de polipropileno contendo 200 células de 53 cm x 27 cm x 4cm de diâmetro cada. Para cada espécie avaliada foram empregados cinco tratamentos, correspondentes a testemunha sem inoculação de fungos e inoculação com os isolados BANI001, BA031, BANI032 e BANI045. Dessa forma, para *A. hybridus* foram utilizadas cinco bandejas, sendo uma destinada a cada tratamento, e o mesmo procedimento foi adotado para *A. Retroflexus*, totalizando dez bandejas experimentais.

Após o estabelecimento das plantas, foi realizada a contagem do número inicial de indivíduos presentes em cada bandeja, permitindo posteriormente comparar a sobrevivência e os sintomas observados após a inoculação dos diferentes isolados.

Os resultados obtidos foram apresentados e discutidos de forma descritiva, com base na incidência dos sintomas e na redução da população de plantas observada em cada tratamento, sem a aplicação de análises estatísticas inferenciais.

4.5. Produção do inóculo

Após o crescimento dos isolados em meio sólido, foi preparado meio de cultura líquido contendo Caldo Batata-Dextrose (BD), totalizando 1.200 mL, distribuídos em oito frascos Erlenmeyer com capacidade de 250 mL, contendo 150 mL de meio de cultura em cada frasco.

Discos de micélio retirados das colônias desenvolvidas em meio Batata-Dextrose-Ágar (BDA) foram transferidos para os frascos contendo o meio líquido. Para cada isolado, foram utilizados dois frascos, sendo um destinado à inoculação em *A. hybridus* e outro em *A. retroflexus*. Para minimizar contaminações bacterianas, foi adicionado ao meio de cultura o antibiótico Rifotrat® Spray, cujo princípio ativo é a rifamicina SV sódica (10 mg mL⁻¹). O antibiótico foi adicionado após a esterilização do meio e enquanto este ainda se encontrava em estado líquido, sendo incorporado na proporção de uma borrifada para cada frasco contendo 150 mL de meio de cultura.

Os frascos permaneceram em shaker orbital durante sete dias, à temperatura de 25°C, sob agitação constante de 150 rpm, visando à produção de biomassa fúngica.

Após esse período, o conteúdo dos frascos foi triturado com auxílio de mixer, obtendo-se uma suspensão homogênea contendo fragmentos de micélio. Em seguida, foram adicionados 200 µL do adjuvante agrícola Ranchero® diretamente em cada frasco, substância utilizada para reduzir a tensão superficial da suspensão, aumentando a molhabilidade da superfície foliar e favorecendo a distribuição uniforme do inóculo sobre o tecido vegetal (Matthews et al., 2014). Durante o processo de inoculação, os pincéis foram desinfetados com álcool 70% e, posteriormente, enxaguados com água destilada esterilizada entre os tratamentos, com o objetivo de evitar contaminação cruzada entre os diferentes isolados fúngicos.

4.6. Inoculação dos isolados

A inoculação foi realizada quando as plantas apresentavam o segundo par de folhas verdadeiras completamente expandido, estágio fenológico adotado por proporcionar maior uniformidade fisiológica entre as plantas e reduzir variações na resposta à infecção pelos isolados fúngicos (Agrios, 2005), utilizando pincel de cerdas macias (pincel para pintura em tecido nº 2), sendo aplicada a suspensão fúngica diretamente na parte aérea das plantas por meio de pincelamento uniforme cobrindo toda a superfície foliar. Entre a aplicação de cada tratamento, os pincéis foram higienizados com álcool 70% e posteriormente enxaguados com água destilada esterilizada, evitando contaminação cruzada entre os isolados e garantindo maior confiabilidade aos procedimentos experimentais.

Os tratamentos consistiram na aplicação dos isolados BANI001, BA031, BANI032 e BANI045 em ambas as espécies avaliadas (*Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*). As plantas do tratamento testemunha receberam apenas, água destilada esterilizada e adjuvante agrícola Ranchero®, sem a presença do fungo.

Após a inoculação, as plantas foram mantidas em câmara úmida por 48 horas, utilizando sacos plásticos transparentes, a fim de manter elevada umidade relativa do ar, condição necessária para favorecer a germinação dos fragmentos de micélio e a infecção pelos isolados fúngicos.

4.7. Avaliação

Após o período de 48 horas em câmara úmida, as plantas foram transferidas para câmara de crescimento com iluminação artificial, permanecendo sob irrigação realizada em dias alternados, durante 5 minutos por bancada, totalizando 10 minutos por turno de irrigação. A câmara de crescimento foi mantida à temperatura de 25°C, com umidade relativa do ar em torno de 60% e fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro. As avaliações foram realizadas diariamente durante sete dias após a inoculação dos isolados de *Alternaria* spp.

Foram registrados os sintomas característicos da infecção fúngica, incluindo clorose, necrose foliar e morte de plantas. A avaliação foi realizada visualmente, considerando a incidência e a intensidade dos sintomas observados em cada tratamento.

A agressividade dos sintomas foi estimada por meio de uma escala visual adaptada, baseada na porcentagem de tecido vegetal afetado, seguindo os princípios de avaliação visual descritos pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995).

4.8. Avaliação da agressividade dos isolados

Além da avaliação visual dos sintomas, a agressividade dos isolados foi determinada por meio da redução da população de plantas em cada tratamento. Para isso, foram contabilizados o número inicial de plantas e o número de plantas sobreviventes ao final do período de avaliação.

A porcentagem de agressividade foi calculada pela relação entre o número inicial de plantas presentes antes da inoculação e o número de plantas sobreviventes ao final do período de avaliação, utilizando a expressão:

$$Agressividade (\%) = \frac{(Ni - Nf)}{Ni} * 100 \quad (1)$$

em que:

Ni = número inicial de plantas antes da inoculação;

Nf = número de plantas sobreviventes ao final das avaliações.

Os valores obtidos foram utilizados como parâmetro para comparar a capacidade dos isolados de *Alternaria* sp. em reduzir a população das plantas daninhas avaliadas, permitindo estimar o potencial bio-herbicida dos diferentes tratamentos.

A classificação da eficiência dos isolados foi realizada com base na porcentagem de controle obtida em cada tratamento. Para auxiliar na interpretação dos resultados, foi utilizada uma escala adaptada dos critérios de avaliação visual de controle propostos pela Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995), originalmente desenvolvida para estudos envolvendo herbicidas. Neste estudo, essa escala foi utilizada como referência para classificar a agressividade dos isolados sobre as espécies *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*, conforme apresentado na **Tabela 02**.

Tabela 02. Classificação da eficiência bio-herbicida dos isolados de *Alternaria* spp. sobre *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*, adaptada da SBCPD (1995).

Controle (%)	Classificação da eficiência
90 – 100	Excelente
80 – 89	Muito bom
70 – 79	Bom
50 – 69	Moderado
0 – 49	Baixo ou ineficiente

Fonte: Adaptado de Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995).

5. RESULTADOS

Os ensaios de patogenicidade permitiram avaliar a agressividade de quatro isolados de *Alternaria* spp. sobre duas espécies de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*, *A. hybridus* e *A. retroflexus*. A avaliação foi realizada por meio da quantificação da mortalidade, da ocorrência de necrose e da agressividade total observada nas plantas inoculadas, permitindo identificar diferenças no potencial de cada isolado em causar danos aos hospedeiros.

Além da análise quantitativa, foi realizada a avaliação visual dos sintomas desenvolvidos após a inoculação, possibilitando complementar os resultados obtidos e evidenciar diferenças na intensidade dos sintomas entre os tratamentos. Os resultados obtidos são apresentados a seguir para cada espécie avaliada, seguidos por uma análise comparativa entre os isolados.

5.1. Agressividade dos isolados de *Alternaria* spp. sobre *Amaranthus hybridus*

A eficiência bio-herbicida dos isolados de *Alternaria* spp. sobre *Amaranthus hybridus* está apresentada na **Tabela 03**. Observou-se variação na capacidade de controle entre os isolados avaliados, evidenciando diferenças na agressividade dos isolados fúngicos sobre a espécie daninha.

Tabela 03. Agressividade dos isolados de *Alternaria* spp. sobre *Amaranthus hybridus*

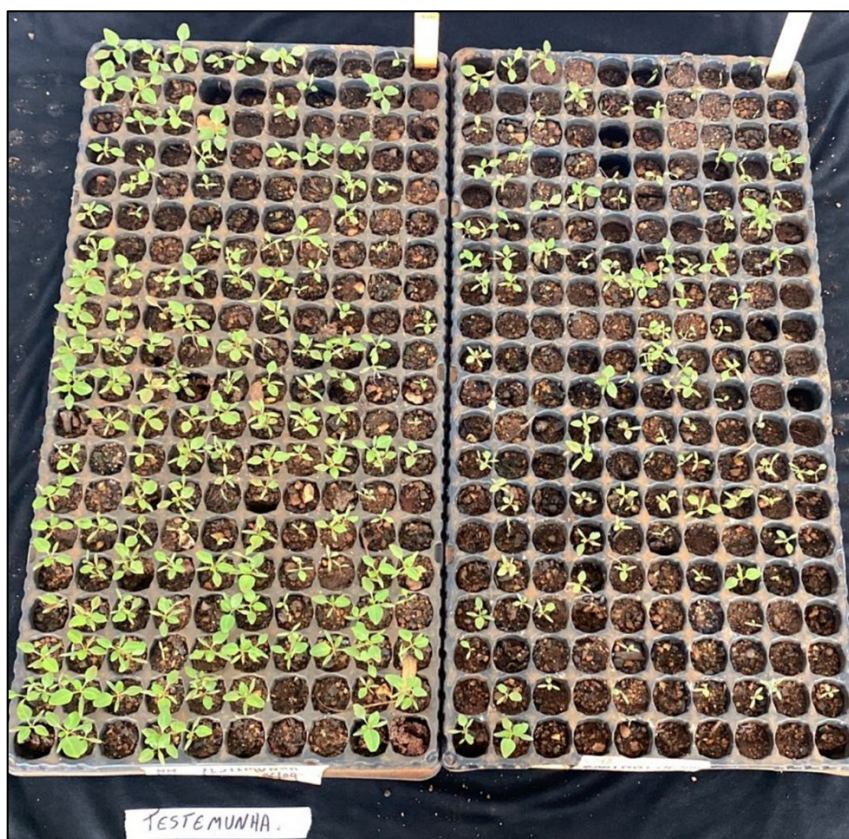
Isolado	Ni	Nf	Agressividade (%)	Classificação
BANI001	167	79	52,69	Moderado
BA031	191	142	25,65	Baixo ou ineficiente
BANI032	119	101	15,13	Baixo ou ineficiente
BANI045	148	84	43,24	Baixo ou ineficiente

*Ni = número inicial de plantas; **Nf = número final de plantas sobreviventes. A classificação da eficiência bio-herbicida foi baseada na porcentagem de controle obtida para cada isolado.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados experimentais (2026).

O isolado BANI001 (**Figura 02**) apresentou o maior percentual de controle, com 52,69%, sendo classificado como de eficiência moderada. Em seguida, destacou-se o isolado BANI045, que promoveu 43,24% de controle. Já os isolados BA031 e BANI032 apresentaram menores níveis de controle, correspondentes a 25,65% e 15,13%, respectivamente, sendo classificados como de baixa ou ineficiente eficiência bio-herbicida.

Figura 02. Comparação visual entre plantas de *Amaranthus hybridus* da testemunha e plantas inoculadas com o isolado BANI001 de *Alternaria* spp.



Fonte: Autora (2026).

As plantas submetidas à inoculação apresentaram sintomas característicos da infecção fúngica, incluindo desenvolvimento de lesões necróticas e, posteriormente, morte de parte das plantas avaliadas. Os sintomas foram mais intensos nos tratamentos contendo os isolados BANI001 e BANI045, os quais também apresentaram os maiores percentuais de controle. Por outro lado, os isolados BA031 e BANI032 ocasionaram sintomas menos severos, refletindo nos menores índices de controle observados.

5.2. Agressividade dos isolados de *Alternaria* spp. sobre *Amaranthus retroflexus*

A eficiência bio-herbicida dos isolados de *Alternaria* spp. sobre *Amaranthus retroflexus* está apresentada na **Tabela 04**. De maneira geral, todos os isolados avaliados apresentaram baixa eficiência de controle, com valores inferiores a 50%, sendo classificados como de baixa ou ineficiente ação bio-herbicida.

Tabela 04. Agressividade dos isolados de *Alternaria* spp. no controle de *Amaranthus retroflexus*

Isolado	Ni*	Nf**	Agressividade (%)	Classificação
BANI001	177	121	31,64	Baixo ou ineficiente
BA031	185	173	6,49	Baixo ou ineficiente
BANI032	152	105	30,92	Baixo ou ineficiente
BANI045	188	155	17,55	Baixo ou ineficiente

*Ni = número inicial de plantas; **Nf = número final de plantas sobreviventes. A classificação da eficiência bio-herbicida foi baseada na porcentagem de controle obtida para cada isolado.

Fonte: Autora (2026).

O isolado BANI001 (**Figura 03**) apresentou o maior percentual de controle, com 31,64%, seguido pelo isolado BANI032, com 30,92%. Os isolados BANI045 e BA031 apresentaram os menores níveis de controle, correspondendo a 17,55% e 6,49%, respectivamente.

Figura 03. Comparação visual entre plantas de *Amaranthus retroflexus* da testemunha e plantas inoculadas com o isolado BANI001 de *Alternaria* spp.



Fonte: Autora (2026).

As plantas inoculadas apresentaram sintomas associados à infecção fúngica, incluindo clorose, aparecimento de lesões necróticas e redução do desenvolvimento vegetativo. Entretanto, os sintomas observados foram menos intensos quando comparados aos apresentados por *A. hybridus*, refletindo nos menores percentuais de controle obtidos para todos os isolados avaliados.

5.3. Comparação da agressividade dos isolados de *Alternaria* spp. sobre *Amaranthus hybridus* e *A. retroflexus*

A comparação da eficiência bio-herbicida dos isolados de *Alternaria* spp. entre as duas espécies avaliadas demonstrou que a agressividade dos isolados foi influenciada pela espécie hospedeira, evidenciando uma interação específica entre o patógeno e a planta daninha. Embora *A. hybridus* e *A. retroflexus* pertençam ao mesmo gênero, as espécies apresentaram respostas distintas à inoculação dos isolados, indicando diferenças quanto à suscetibilidade ao agente fúngico.

De maneira geral, *A. hybridus* apresentou maior redução na sobrevivência das plantas após a inoculação, com destaque para o isolado BANI001, que promoveu 52,69% de controle, sendo classificado como de eficiência moderada. Além disso, o isolado BANI045 apresentou 43,24% de controle nessa espécie. Em contrapartida, para *A. retroflexus*, o mesmo isolado BANI001 apresentou redução da eficiência, promovendo apenas 31,64% de controle, enquanto os demais isolados apresentaram valores inferiores, variando entre 6,49% e 30,92%.

6. DISCUSSÕES

Os resultados apresentados demonstraram que os isolados de *Alternaria* spp. apresentaram comportamento distinto quanto à capacidade de provocar sintomas em plantas de *A. hybridus* e *A. retroflexus*. As diferenças observadas na mortalidade, necrose e agressividade total, de acordo com Thomma (2003) evidenciam que a agressividade varia entre isolados pertencentes ao mesmo gênero, refletindo características intrínsecas relacionadas à patogenicidade, capacidade de colonização e adaptação ao hospedeiro. Essa variabilidade é considerada um dos principais fatores para a seleção de agentes promissores destinados ao controle biológico de plantas daninhas (Woudenberg et al., 2013).

Conforme apresentado na Tabela 3 e ilustrado na Figura 2, os isolados avaliados apresentaram diferentes níveis de agressividade sobre *A. hybridus*, destacando-se o isolado BANI001, que apresentou os maiores valores de agressividade total observada. A comparação visual entre as plantas inoculadas e a testemunha reforça os resultados quantitativos, evidenciando sintomas mais intensos de necrose e redução do vigor das plantas submetidas à inoculação. Esses resultados sugerem que esse isolado apresenta maior eficiência na colonização dos tecidos vegetais e maior capacidade de comprometer o desenvolvimento da espécie avaliada.

A elevada agressividade observada para o isolado BANI001 está de acordo com o princípio descrito por Agrios (2005), segundo o qual a manifestação dos sintomas depende da eficiência da interação entre patógeno e hospedeiro, envolvendo processos de infecção, colonização e produção de compostos capazes de promover a degradação dos tecidos vegetais. No caso de espécies pertencentes ao gênero *Alternaria*, Thomma (2003), descreve que essa capacidade está frequentemente associada à produção de metabólitos fitotóxicos e enzimas extracelulares que favorecem a evolução da doença e aumentam a agressividade dos sintomas.

Resultados semelhantes têm sido relatados em estudos envolvendo o uso de espécies de *Alternaria* como potenciais agentes de controle biológico. Kaur e Aggarwal (2017) observaram elevada capacidade de isolados do gênero em reduzir o desenvolvimento de *Parthenium hysterophorus*, enquanto Bailey (2014) destaca que a identificação de isolados altamente agressivos constitui uma das etapas fundamentais para o desenvolvimento de bio-herbicidas eficientes. Dessa forma, os resultados obtidos para *A. hybridus* indicam que o isolado BANI001 apresenta características compatíveis com aquelas desejadas para futuros estudos de desenvolvimento de produtos biológicos destinados ao manejo de plantas daninhas.

Para *Amaranthus retroflexus*, os resultados apresentados na Tabela 4 e ilustrados na Figura 3 também demonstraram diferenças entre os isolados quanto à intensidade dos sintomas provocados. Embora o isolado BANI001 tenha novamente apresentado elevada agressividade, verificou-se que a resposta da espécie diferiu daquela observada em *A. hybridus*, indicando que a suscetibilidade do hospedeiro influencia diretamente a eficiência da infecção. A comparação visual entre as plantas inoculadas e a testemunha confirma essa resposta, evidenciando sintomas compatíveis com aqueles observados durante a avaliação quantitativa.

Segundo Charudattan (2001), a eficiência de um fungo utilizado como bio-herbicida depende não apenas de sua capacidade de causar doença, mas também da especificidade em relação ao hospedeiro-alvo e da estabilidade dessa interação em diferentes condições ambientais. Nesse contexto, diferenças na intensidade dos sintomas entre espécies do mesmo gênero são esperadas, uma vez que fatores fisiológicos, anatômicos e bioquímicos podem interferir na colonização do tecido vegetal e na evolução da infecção (Agrios, 2005).

Quando comparadas as duas espécies avaliadas, observa-se que a resposta aos isolados não ocorreu de forma uniforme, evidenciando que a eficiência de um potencial bio-herbicida depende diretamente da interação estabelecida entre o isolado e a espécie infestante. Essa característica reforça a importância da seleção criteriosa de isolados durante as etapas iniciais de programas de controle biológico, buscando materiais que apresentem elevada agressividade sobre a planta-alvo e reduzido potencial de infecção em espécies não desejadas.

Nos últimos anos, o desenvolvimento de bio-herbicidas à base de fungos tem recebido crescente atenção como alternativa sustentável ao uso intensivo de herbicidas químicos, principalmente em razão do aumento da ocorrência de populações resistentes e da necessidade de práticas agrícolas com menor impacto ambiental. Nesse cenário, Petraki et al. (2024), coloca que fungos fitopatogênicos pertencentes ao gênero *Alternaria* têm sido considerados organismos promissores devido à elevada capacidade de produzir metabólitos fitotóxicos e à possibilidade de atuação seletiva sobre determinadas plantas daninhas.

Além disso, revisões recentes destacam que a utilização de bio-herbicidas representa uma estratégia alinhada aos princípios da agricultura sustentável e do manejo integrado de plantas daninhas, reduzindo a dependência de herbicidas sintéticos e contribuindo para minimizar problemas relacionados à evolução da resistência. Entretanto, os autores, como Raza et al. (2025), ressaltam que a seleção de isolados agressivos corresponde apenas à etapa inicial do processo de desenvolvimento desses produtos, sendo indispensáveis estudos posteriores envolvendo especificidade ao hospedeiro, formulação, estabilidade, produção em escala e validação em condições de campo antes da recomendação para uso comercial.

Dessa forma, considerando os resultados obtidos neste estudo, o isolado BANI001 destacou-se como o material mais promissor entre os isolados avaliados, apresentando elevada capacidade de induzir sintomas em ambas as espécies de *Amaranthus*. Embora os resultados sejam preliminares, eles fornecem informações importantes para a continuidade das pesquisas

voltadas ao desenvolvimento de bio-herbicidas, contribuindo para a seleção de isolados com potencial de utilização em programas de manejo sustentável de plantas daninhas.

7. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que os isolados de *Alternaria* spp. avaliados apresentam potencial bio-herbicida sobre espécies de *Amaranthus*, evidenciando capacidade de causar sintomas de infecção e reduzir a sobrevivência das plantas daninhas, embora tenham sido observadas diferenças na eficiência de controle entre os isolados e entre as espécies hospedeiras.

Para *A. hybridus*, o isolado BANI001 apresentou o maior potencial bio-herbicida, proporcionando 52,69% de controle e sendo classificado como de eficiência moderada. Os demais isolados apresentaram menor eficiência, porém foram capazes de induzir sintomas característicos da infecção fúngica, demonstrando capacidade de interação com o hospedeiro.

Em *A. retroflexus*, os isolados apresentaram menor eficiência de controle em comparação à observada em *A. hybridus*, indicando maior tolerância dessa espécie à ação dos isolados avaliados nas condições experimentais. Apesar disso, BANI001 e BANI032 apresentaram os maiores percentuais de controle, destacando-se como os isolados mais promissores para essa espécie.

A comparação entre as espécies evidenciou que a agressividade dos isolados de *Alternaria* spp. é influenciada pela interação patógeno-hospedeiro, sendo determinada por características específicas da planta, do isolado fúngico e das condições ambientais. Dessa forma, a mesma linhagem fúngica pode apresentar diferentes níveis de eficiência conforme a espécie vegetal avaliada.

De maneira geral, o isolado BANI001 apresentou o maior potencial bio-herbicida entre os isolados testados, principalmente sobre *A. hybridus*, constituindo-se como candidato promissor para estudos futuros visando ao desenvolvimento de estratégias de controle biológico de plantas daninhas do gênero *Amaranthus*.

Entretanto, ressalta-se que a utilização de fragmentos de micélio como fonte de inóculo pode ter influenciado a eficiência observada, uma vez que a padronização da concentração e da viabilidade do agente biológico é fundamental para a avaliação do potencial bio-herbicida.

Assim, estudos futuros utilizando suspensões de conídios padronizadas, diferentes concentrações de inóculo, formulações adequadas e avaliações em condições de campo são necessários para validar e aprimorar o uso desses isolados como agentes de controle biológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEGAS, F. S., CORREIA, N. M., SILVA, A. F., CONCENÇO, G., GAZZIERO, D. L. P., & DALAZEN, G. **Glyphosate-resistant (GR) soybean and corn in Brazil: past, present, and future.** *Adv Weed Sci*, 40(spe1), e0202200102. 2022. DOI: 10.51694/AdvWeedSci/2022;40:seventy-five004.

AGRIOS, G. N. **Plant pathology** 5th edition: Elsevier academic press. Burlington, Ma. USA, v. 922, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02037-6>.

ANEJA, K. R. **Non-chemical management of weeds through bioherbicides: current status, market, development, constraints and future prospects.** *Brazilian Journal of Development*, v. 10, n. 2, 2024. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv10n2-053>.

ASH, G. J. **The science, art and business of successful bioherbicides.** *Biological Control*, v. 52, n. 3, p. 230-240, 2010. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2009.08.007.

BAILEY, K. L. **The bioherbicide approach to weed control using plant pathogens.** In: ABROL, D. P. (Ed.). *Integrated Pest Management: Current Concepts and Ecological Perspective*. San Diego: Academic Press, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398529-3.00014-2>

BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. **Illustrated Genera of Imperfect Fungi**. 4. ed. APS Press, 1998.

BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination**. 2. ed. Academic Press, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/291850436_Seed_Ecology_Biogeography_and_Evolution_of_Dormancy_and_Germination.

BOURDÔT, G. W. et al., **Broad host-range pathogens as bioherbicides: managing nontarget plant disease risk.** *Pest Management Science*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.7410>.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** *Regras para Análise de Sementes*. Brasília, 2009.

BRAZ, G. B. P.; TAKANO, H. K. **Chemical control of multiple herbicide-resistant Amaranthus: A review.** *Advances in Weed Science*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:Amaranthus009>.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. **Biologia de plantas daninhas.** In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Org.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax, 2011.

CARVALHO, S. J. P. D.; CHRISTOFFOLETI, P. J. **Influência da luz e da temperatura na germinação de cinco espécies de plantas daninhas do gênero**

Amaranthus. Bragantia, 66, 527-533, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400001>.

CHARUDATTAN, R. **Biological control of weeds by means of plant pathogens: significance for integrated weed management in modern agro-ecology**. *BioControl*, v. 46, p. 229–260, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:101147753110>.

COSTEA, M.; WEAVER, S. E.; TARDIF, F. J. **The biology of Canadian weeds. 130. *Amaranthus retroflexus* L., *A. powellii* S. Watson and *A. hybridus* L.** *Canadian journal of plant science*, v. 84, n. 2, p. 631-668, 2004. DOI: <https://doi.org/10.4141/P02-183>.

DE OLIVEIRA, C. et al., **Emergence of multiple resistance to EPSPS and ALS herbicides in smooth pigweed (*Amaranthus hybridus*): a growing concern in Brazil**. *Weed Science*, v. 72, n. 6, p. 664-672, 2024. DOI: 10.1017/wsc.2024.49.

DHINGRA, O. D.; SINCLAIR, J. B. **Basic Plant Pathology Methods**. 2. ed. CRC Press, 1995.

DUKE, S. O. **Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years?** *Pest Management Science*, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.2333>.

FRANCISCHINI, A. C. et al., **Resistance of *Amaranthus retroflexus* to acetolactate synthase inhibitor herbicides in Brazil**. *Advances in Weed Science*, 2014.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2025. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br>.

GAZZIERO, D. L. P. et al., **Introduction and management of *Amaranthus palmeri* in Brazil**. *Advances in Weed Science*, v. 41, 2023. DOI: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2023;41:00010>.

HEAP, I. **The International Herbicide-Resistant Weed Database**. 2025. Disponível em: <https://www.weedscience.org>.

KAUR, M. e AGGARWAL, N. K.. **Biocontrol potential of *Alternaria sp.* PMK2, against a devastating weed: *Parthenium hysterophorus* L.** *International Journal of Pest Management*, 63(1), 47-53, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670874.2016.1217364>.

KISSMANN, K. G.; GROTH, D. **Plantas infestantes e Nocivas – tomo II**. São Paulo: BASF, 2 ed. 1999.

LAMEGO, F. P. et al., **Resistance of *Amaranthus hybridus* to glyphosate: detection, mechanisms involved and alternatives for integrated management**. *Advances in Weed Science*, v. 42, 2024. DOI: <https://doi.org/10.51694/AdvWeedSci/2024;42:00025>.

MATTHEWS, G. A.; BATEMAN, R.; MILLER, P. **Pesticide application methods**. John Wiley & Sons, 2014.

MEENA, M.; PRASAD, V.; UPADHYAY, R. S. **Evaluation of *Alternaria alternata* isolates for metabolite production isolated from different sites of Varanasi.** India. J. Agric. Res, v. 2, n. 1, p. 12, 2017.

MONQUERO, P. A. (org.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas.** São Carlos: RiMa Editora, 2014. 434 p. 2014

NORSWORTHY, J. K., WARD, S. M., SHAW, D. R., LLEWELLYN, R. S., NICHOLS, R. L., WEBSTER, T. M., ... & BARRETT, M. (2012). **Reducing the risks of herbicide resistance: best management practices and recommendations.** Weed science, 60(SP1), 31-62, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00155.1>.

OCÁN-TORRES, D. et al., **Microbial bioherbicides based on cell-free phytotoxic metabolites: analysis and perspectives on their application in weed control as an innovative sustainable solution.** Plants, v. 13, n. 14, p. 1996, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13141996>.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Org.). **Biologia e manejo de plantas daninhas.** Curitiba: Omnipax, 2011.

PETRAKI, D.; KANATAS, P.; ZANNOPOULOS, S.; KOKKINI, M.; ANTONOPOULOS, N.; GAZOULIS, I.; TRAVLOS, I. **Agroecological Weed Management and the Potential Role of Fungi-Based Bioherbicides in Conservation: Advantages, Applications and Future Prospects.** Conservation, v. 4, n. 4, p. 847–859, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/conservation4040050>.

RAZA, T. et al., **Bioherbicides: Revolutionizing weed management for sustainable agriculture in the era of one-health.** Current Research in Microbial Sciences, v. 8, p. 100394, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2025.100394>.

REIS, A. et al., **Círculo de hospedeiras de isolados de *Verticillium dahliae* obtidos de tomateiro, quiabeiro e morangueiro.** 2006. DOI: <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-infoteca-e-doc-780293>.

SAGE, R. F.; ZHU, X.-G. **Exploiting the engine of C4 photosynthesis.** Journal of Experimental Botany, Volume 62, Issue 9, Pages 2989–3000, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/err179>.

SAUER, J. D. **The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey.** Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 54, n. 2, p. 103-137, 1967. DOI: <https://doi.org/10.2307/2394998>.

SBCPD. SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas.** Londrina: SBCPD, 1995.

SHABANA, Y. et al., **Production and formulation of high quality conidia of *Microsphaeropsis amaranthi* for the biological control of weedy *Amaranthus***

species. Biological Control, v. 55, n. 1, p. 49-57, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2010.06.014>.

SILVA, L. G.; LIMA, H. C. **Métodos de Superação da Dormência e Substratos para Germinação de Sementes de *Tachigali vulgaris***. Floresta e Ambiente, v. 25, n. 4, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.071814>.

SMITH, D.A.; HALLETT, S. G. **Interactions between chemical herbicides and the candidate bioherbicide *Microsphaeropsis amaranthi***. Weed Science, v. 54, n. 3, p. 532-537, 2006. DOI: 10.1614/WS-05-102R1.1.

STECKEL, L. E. **The dioecious *Amaranthus spp.*: here to stay**. Weed Technology, v. 21, n. 2, p. 567-570, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-06-045.1>.

TAIZ, L. et al., **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.**, 6. ed. Artmed, 2017.

THOMMA, B. PHJ. ***Alternaria spp.*: from general saprophyte to specific parasite**. Molecular plant pathology, v. 4, n. 4, p. 225-236, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1364-3703.2003.00173.x>

WARD, S. M.; WEBSTER, T. M.; STECKEL, L. E. **Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*): a review**. Weed Technology, v. 27, n. 1, p. 12-27, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1614/WT-D-12-00113.1>

WOUDENBERG, J. H. C. et al., ***Alternaria* redefined**. Studies in mycology, v. 75, n. 1, p. 171-212, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3114/sim0015>.

YANNICCARI, M. et al., **Global patterns of herbicide resistance evolution in *Amaranthus spp.*: an analysis comparing species, cropping regions and herbicides**. Advances in Weed Science, v. 40, n. spe2, p. e0202200037, 2022. DOI: <https://doi.org/10.51694/10.51694/AdvWeedSci/2022;40:Amaranthus011>.