

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Inibição do crescimento de espécies de plantas daninhas por rizobactérias
deletérias**

Marcos Vinícius Pereira Barros
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

MARCOS VINÍCIUS PEREIRA BARROS

**Inibição do crescimento de espécies de plantas daninhas por rizobactérias
deletérias**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Mauricio Dutra Costa

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

B277i
2025

Barros, Marcos Vinícius Pereira, 1998-
Inibição do crescimento de espécies de plantas daninhas por
rizobactérias deletérias / Marcos Vinícius Pereira Barros. –
Viçosa, MG, 2025.

1 dissertação eletrônica (57 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Maurício Dutra Costa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Fitotecnia, 2025.

Referências bibliográficas: f. 47-52.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.698>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Ervas daninhas - Controle. 2. Bactérias fitopatogênicas.
3. Rizosfera. 4. Inibidores de crescimento. I. Costa, Maurício
Dutra, 1966-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.
III. Título.

CDD 22. ed. 632.5

MARCOS VINÍCIUS PEREIRA BARROS

**Inibição do crescimento de espécies de plantas daninhas por rizobactérias
deletérias**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de agosto de 2025.

Assentimento:

Marcos Vinícius Pereira Barros
Autor

Mauricio Dutra Costa
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 24/10/2025 às 17:42:51 e pelo orientador em 28/10/2025 às 14:45:11. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **IRLF.5KRF.SL9K** e clique no botão 'Validar documento'.

Aos meus pais e ao meu irmão.

AGRADECIMENTOS

Dedico aos meus pais, Mário e Maria de Fátima, por me apoiarem durante todo o percurso acadêmico. Ao meu irmão, Mário Henrique e à minha cunhada Isabela, pelos constantes estímulos que contribuíram para eu ser um profissional melhor. Aos colegas do Laboratório de Ecologia Microbiana, agradeço pela colaboração nos experimentos, pelas valiosas trocas de conhecimento e pelo convívio. Tudo isso foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho. Registro, em especial, agradecimentos ao Henrique, pelo apoio técnico e pelo incentivo durante a condução dos experimentos.

Ao professor Maurício Dutra Costa, por todos os ensinamentos valiosos, pelos momentos de descontração e pela confiança em realizar o trabalho.

Ao meu coorientador, Francisco Cláudio, pelo apoio durante o experimento em casa-de-vegetação.

Aos amigos do Laboratório de Associações Micorrízicas, pela disponibilidade e pela cooperação sempre que necessário.

Ao meu afilhado Pedro, deixo meu agradecimento especial pela inspiração que representa em minha vida. Sua presença me motivou a ser uma pessoa melhor, mais resiliente e comprometida com meus objetivos. Em muitos momentos, foi a lembrança do seu sorriso e de sua alegria que me deu forças para seguir firme durante os desafios do mestrado.

Aos meus familiares e amigos, que de alguma forma contribuíram para essa jornada ser mais prazerosa e animadora.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia e ao Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

BARROS, Marcos Vinícius Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2025. **Inibição do crescimento de espécies de plantas daninhas por rizobactérias deletérias.** Orientador: Mauricio Dutra Costa.

O manejo das plantas daninhas demanda grandes quantidades de herbicidas, os quais representaram cerca de 47% do consumo de agrotóxicos no Brasil em 2022. Uma das alternativas para reduzir o consumo de herbicidas é a utilização de microrganismos inibidores do crescimento vegetal, a exemplo das rizobactérias deletérias (DRB, do inglês *Deleterious Rhizobacteria*). As DRBs colonizam a rizosfera das plantas, inibindo o crescimento vegetal, sem causar sintomas aparentes de doença. O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de seis isolados de rizobactérias deletérias [87 (*Cellulosimicrobium* sp.), 125 (*Fictibacillus* sp.) 204 (*Brevundimonas* sp.), 211 (*Neobacillus* sp.), 212 (*Pseudoclavibacter* sp.) e 405 (*Microbacterium* sp.)] em inibir o crescimento de diferentes espécies de plantas daninhas, a saber *Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf. (capim-falso-massambará), *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) R.D.Webster (capim-braquiária), *Ipomoea cairica* (L.) Sweet. (corda-de-viola), *Amaranthus spinosus* L. (caruru-de-espinho) e *Bidens pilosa* L. (picão-preto), e caracterizar os mecanismos de promoção ou inibição do crescimento vegetal *in vitro*. Os isolados de DRB variaram quanto à capacidade de inibir o crescimento das plantas daninhas. A inibição do crescimento manifestou-se na redução do acúmulo de massa seca da parte aérea e, ou da massa seca das raízes. Alguns isolados promoveram o acúmulo de massa seca total das plantas de *I. cairica* e *A. spinosus*, indicando que a atividade de inibição depende da espécie de planta. Apesar de serem classificados como DRBs, os isolados testados foram capazes de solubilizar fontes de fosfato naturais e sintéticas, produzir AIA, sideróforos, amônia e quitinase, características associadas à promoção de crescimento. Um dos isolados apresentou a capacidade de fixar nitrogênio. A produção de HCN, tida como um dos mecanismos de inibição do crescimento vegetal, não foi detectada neste trabalho. Esses dados evidenciaram a capacidade dos isolados testados em inibir ou promover o crescimento de diferentes espécies de plantas daninhas, indicando potencial de uso em práticas de manejo menos dependentes de herbicidas e mais sustentáveis ambientalmente.

Palavras-chave: rizobactérias deletérias; plantas daninhas; inibição de crescimento de plantas

ABSTRACT

BARROS, Marcos Vinícius Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2025. **Weed growth inhibition by deleterious rhizobacteria.** Adviser: Mauricio Dutra Costa.

Weed management requires large quantities of herbicides, which accounted for approximately 47% of pesticide consumption in Brazil in 2022. One alternative to reducing herbicide consumption is the use of microorganisms that inhibit plant growth, such as deleterious rhizobacteria (DRB). DRBs colonize the rhizosphere of plants, inhibiting plant growth without causing apparent disease symptoms. The objective of this work was to evaluate the capacity of six isolates of deleterious rhizobacteria [87 (*Cellulosimicrobium* sp.), 125 (*Fictibacillus* sp.) 204 (*Brevundimonas* sp.), 211 (*Neobacillus* sp.), 212 (*Pseudoclavibacter* sp.) and 405 (*Microbacterium* sp.)] to inhibit the growth of different weed species, namely *Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf. (false-massambará), *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) R.D.Webster (capim-braquiária), *Ipomoea cairica* (L.) Sweet. (corda-de-viola), *Amaranthus spinosus* L. (caruru-de-espeinho), and *Bidens pilosa* L. (picão-preto), and characterize the mechanisms of plant growth promotion or inhibition *in vitro*. The DRB isolates varied in their ability to inhibit weed growth. Growth inhibition was manifested by reduced shoot dry matter accumulation and/or root dry matter. Some isolates promoted the accumulation of total dry matter in *I. cairica* and *A. spinosus* plants, indicating that the inhibitory activity depends on the plant species. Despite being classified as DRBs, the tested isolates were able to solubilize natural and synthetic phosphate sources and produce IAA, siderophores, ammonia, and chitinase, characteristics associated with growth promotion. One of the isolates demonstrated nitrogen fixation. HCN production, considered one of the mechanisms of plant growth inhibition, was not detected in this study. These data demonstrated the ability of the tested isolates to inhibit or promote the growth of different weed species, indicating their potential use in establishing management practices that are less dependent on herbicides and environmentally sustainable.

Keywords: deleterious rhizobacteria; weeds; plant growth inhibition

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Plantas daninhas	11
2.2. Rizobactérias	13
2.2.1. Rizobactérias promotoras de crescimento	13
2.2.2. Rizobactérias deletérias	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Seleção de isolados bacterianos rizosféricos	17
3.2. Reativação e constituição do estoque bacteriano.....	17
3.3. Experimento em casa-de-vegetação	17
3.3.1. Coleta de sementes de plantas daninhas.....	17
3.3.2. Montagem do experimento.....	18
3.3.3. Determinação de massa seca da parte aérea e raízes das plantas daninhas.....	18
3.4. Mecanismos de inibição e promoção de crescimento <i>in vitro</i>	19
3.4.1. Solubilização de fosfatos.....	19
3.4.2. Produção de ácido indol-3-acético (AIA)	19
3.4.3. Produção de sideróforos	19
3.4.4. Produção de amônia	20
3.4.5. Produção de quitinase.....	20
3.4.6. Produção de cianeto de hidrogênio	20
3.4.7. Fixação biológica de nitrogênio	21
3.5. Análises estatísticas de dados.....	21
4. RESULTADOS.....	22
4.1 Experimento em casa-de-vegetação	22

4.1.1. Efeitos da inoculação de rizobactérias em picão-preto	22
4.1.2. Efeitos da inoculação de rizobactérias em caruru-de-espinho	25
4.1.3. Efeitos da inoculação de rizobactérias em corda-de-viola.....	25
4.1.4. Efeitos da inoculação de rizobactérias em capim-braquiária.....	30
4.1.5. Efeitos da inoculação de rizobactérias em capim-falso-massambará	30
4.2 Mecanismos de inibição e promoção do crescimento <i>in vitro</i>	36
4.2.1. Solubilização de fosfatos	36
4.2.2. Produção de ácido indol-3-acético (AIA)	37
4.2.3. Produção de amônia.....	37
4.2.4. Produção de quitinase	38
4.2.5. Produção de sideróforos.....	39
4.2.6. Produção de cianeto de hidrogênio	39
4.2.7. Fixação biológica de nitrogênio	40
5. DISCUSSÃO	41
6. CONCLUSÃO	46
7. REFERÊNCIAS.....	47
8. APÊNDICE.....	53

1. INTRODUÇÃO

A evolução da agricultura ao longo do último século foi marcada pela intensificação do uso de novas tecnologias, a exemplo das sementes geneticamente modificadas, fertilizantes químicos e defensivos agrícolas, e de equipamentos modernos. Esses avanços, impulsionados pela Revolução Verde, foram fundamentais para o aumento da produtividade de culturas importantes, como o milho, a soja, o trigo, o feijão e a cana-de-açúcar, em resposta à crescente demanda por alimentos pela população.

Entretanto, o aumento da produtividade agrícola enfrenta desafios significativos, como a competição de plantas daninhas com as culturas. As plantas daninhas são aquelas indesejáveis, em certo momento e local, em alguma atividade humana. Na agricultura, podem comprometer a produtividade se não forem devidamente controladas. No caso da cultura do milho, por exemplo, a aplicação de herbicidas é utilizada para o controle de plantas daninhas e a manutenção do estande de plantas no período inicial da cultura. Caso as plantas daninhas não sejam eliminadas, podem competir diretamente com a cultura por recursos essenciais, como nutrientes, luz e água, podendo reduzir a produtividade. Essas perdas não apenas geram prejuízos significativos para os produtores, mas também impactam toda a cadeia produtiva, provocando oscilações nos preços dos grãos e de seus derivados.

O uso de herbicidas é amplamente adotado para controlar plantas daninhas antes que ocorra competição com a cultura. No Brasil, esses insumos representam cerca de 47% do total de defensivos químicos utilizados na agricultura (FAO,2022). Apesar da eficácia dos herbicidas, a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes a esses compostos e os impactos negativos ao meio ambiente têm gerado preocupações econômicas e ambientais.

A microbiota do solo tem ganhado destaque devido à sua capacidade de promover o crescimento de plantas, além de atuar na degradação de contaminantes orgânicos do solo. Estudos recentes têm desvendado como microrganismos do solo influenciam as interações entre as culturas e as plantas daninhas. A microbiota do solo pode atuar favorecendo ou não determinada planta, e, por conseguinte, influenciar o balanço de competição interespecífica.

No solo, bactérias da rizosfera vegetal têm particular importância na ecologia de plantas daninhas. As rizobactérias promotoras do crescimento vegetal podem, por

meio de mecanismos diretos e indiretos, facilitar o crescimento dessas plantas. Já a rizobactérias deletérias, atuam na inibição do crescimento, sem causar sintomas aparentes de doença, por meio de variados mecanismos, incluindo a produção de ácido cianídrico (HCN).

Nesse contexto, estratégias microbianas, a exemplo do uso de rizobactérias deletérias, apresentam potencial de contribuir para a redução da dependência do uso de herbicidas. As rizobactérias deletérias podem suprimir ou retardar o crescimento de plantas daninhas, impedindo ou mitigando os efeitos da competição sobre a cultura. O uso desses microrganismos na agricultura pode reduzir o uso de herbicidas, contribuindo para o estabelecimento de práticas agrícolas mais sustentáveis. Esses microrganismos podem ser utilizados nos processos de descontaminação de solos por agrotóxicos, *Cellulosimicrobium*, por exemplo, é capaz de degradar o herbicida Quiclorac no solo, além de promover o crescimento do arroz (HUANG *et al.*, 2021). Além disso, até o momento, não existem herbicidas comerciais registrados no Brasil, que sejam produzidos a partir de metabólitos microbianos.

Um conjunto de rizobactérias foi isolado a partir da rizosfera do picão-preto (*Bidens pilosa* L.). Alguns desses isolados foram capazes de mudar o equilíbrio da interação entre essa planta daninha e o milho (Kehl, 2021). No entanto, pouco se sabe sobre os mecanismos que operam na inibição do crescimento vegetal, nem sobre a gama de espécies vegetais susceptíveis à inibição por essas rizobactérias. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de rizobactérias de inibir o crescimento de diferentes espécies de plantas daninhas, a saber *Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf. (capim-falso-massambará), *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster (capim-braquiária), *Ipomoea cairica* (L.) Sweet. (corda-de-viola), *Amaranthus spinosus* L. (caruru-de-espinho) e *B. pilosa* (picão-preto), e caracterizar os mecanismos de promoção ou inibição do crescimento vegetal *in vitro*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Plantas daninhas

O termo “planta daninha” é comumente utilizado para referir-se às plantas cuja presença é indesejada em certos momentos e locais para atividade humana, principalmente na agricultura (PITELLI, 1987; BRIGHENTI e OLIVEIRA, 2011). As plantas daninhas possuem várias características que lhes tornam competitivas e adaptáveis, permitindo que aproveitem diversos habitats e ecossistemas específicos. Essas características correspondem à resistência e à rusticidade das plantas, à alta capacidade reprodutiva e à latência das sementes, resultando em germinação irregular, o que torna o manejo mais desafiador. Além disso, apresentam sistema radicular bem desenvolvido e significativa plasticidade fenotípica, somados à resistência a pragas e doenças, diversos métodos de dispersão muito eficientes, variabilidade das populações e produção de compostos alelopáticos. Essas características conferem a essas plantas alta capacidade competitiva, mesmo em ambientes com condições extremas (SOARES *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2013; FIALHO *et al.*, 2016; HAMMER *et al.*, 2018; SCAVO *et al.*, 2019; MENDES e DA SILVA, 2022).

Por serem muito hábeis na utilização de recursos do ambiente, caso não seja feito o devido controle, as plantas daninhas podem ocasionar prejuízos diretos ou indiretos para as culturas. Entre os prejuízos diretos, destaca-se a redução da produtividade das culturas em virtude da competição por recursos do meio ou devido à liberação de compostos alelopáticos. Na cultura do milho, a interferência de plantas daninhas, como *Urochloa plantaginea* (capim-marmelada), *Digitaria horizontalis* (capim-colonião), *Eleusine indica* (capim-pé-de-galinha), *Raphanus raphanistrum* (nabiça), *Chenopodium album* (ançarinha-branca), *Galinsoga parviflora* (botão-de-ouro), *Amaranthus retroflexus* (caruru-gigante), *Euphorbia heterophylla* (leiteira) e *Sida rhombifolia* (guanxuma), podem acarretar perdas de produtividade de até 20% (KOZLOWSKI *et al.*, 2009). Já na cultura da soja, a produtividade pode ser reduzida em até 52% na presença das espécies *U. plantaginea*, *D. horizontalis*, *Ipomoea triloba* (corda-de-viola), *Euphorbia heterophylla*, *Amaranthus deflexus* (caruru-rasteiro), *Commelina benghalensis* (trapoeraba), *Richardia brasiliensis* (poaia-branca), *Bidens pilosa* e *Raphanus raphanistrum* (SILVA *et al.*, 2015).

Indiretamente, as plantas daninhas podem hospedar pragas e patógenos (OLIVERIA; RANDO, 2017). A espécie *Diabrotica speciosa* (Coleoptera), conhecida como vaquinha verde-amarela, foi encontrada em *Cenchrus echinatus* (capim-carrapicho), *Amaranthus* spp., *E. heterophylla*, *R. raphanistrum*, *B. pilosa*, *Sonchus oleraceus* (serralha), *Digitaria insularis* (capim-amargoso), *Sida* sp., *Parthenium hysterophorus* (losna-branca), *Leonurus sibiricus* (rubim) e *C. benghalensis* [trapoeraba] (OLIVERIA; RANDO, 2017). A capacidade de 17 espécies de plantas daninhas de hospedar o nematoide *Meloidogyne incognita* já foi relatada na literatura (BELLÉ et al. 2017). As espécies *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster (braquiária) e *Sorghum arundinaceum* (falso-massambará) são hospedeiras do Sugarcane mosaic vírus (SCMV), agente causal do mosaico-comum em milho e sorgo no Brasil (SOUZA et al., 2016).

Embora frequentemente consideradas indesejáveis para as atividades humanas, as plantas daninhas desempenham papéis importantes e benéficos nos ecossistemas onde estão presentes (BRIGHENTI e OLIVEIRA, 2011; AGUIAR et al., 2022). Entre as vantagens associadas à presença dessas plantas estão a proteção do solo contra processos erosivos (BRIGHENTI e OLIVEIRA, 2011), a fixação biológica de nitrogênio, especialmente por espécies leguminosas (BRIGHENTI e OLIVEIRA, 2011), e podem ser utilizadas como descontaminantes de metais pesados do solo e da água (Boer et al., 2007). Algumas plantas daninhas são utilizadas como plantas ornamentais, a exemplo da *Ipomoea indica* (corda-de-viola), *Portulaca oleracea* L. (beldroega) e *C. benghalensis* (trapoeraba), por produzirem flores (SOARES FILHO et al., 2016). Além disso, certas espécies são utilizadas como Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC), incluindo a serralha (*Sonchus oleraceus*), o *Amaranthus* spp. (caruru), a *Brassica rapa* (mostarda) e a *P. oleracea* L. (beldroega) [BIONDO et al., 2018; JESUS et al., 2020]. Essas plantas ainda apresentam potencial medicinal, sendo utilizadas tradicionalmente em diferentes regiões do Brasil (AGRA et al., 2007; CORDEIRO, FÉLIX, 2014).

2.2 RIZOBACTÉRIAS

2.2.1 Rizobactérias Promotoras de Crescimento

As rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (PGPR) são bactérias benéficas que habitam a rizosfera das plantas (SIDDIQUI, 2006). A rizosfera é considerada a região do solo que circunda as raízes das plantas, sendo local de intensa atividade biológica e interação microbiana (DE LA FUENTE CANTÓ *et al.*, 2020). A rizosfera é colonizada por grande diversidade de microrganismos, incluindo bactérias, arqueias, fungos, vírus e protozoários, sendo as bactérias e fungos os grupos mais prevalentes e funcionalmente ativos (KALAM *et al.*, 2017; BUÉE *et al.* 2009)

O termo PGPR foi introduzido por Kloepper e Schroth em 1978 para descrever bactérias do solo que colonizam agressivamente as raízes e promovem o crescimento vegetal (KLOEPPER; SCHROTH, 1978). Essas bactérias atuam como parte integrante do microbioma da planta, produzindo substâncias reguladoras que estimulam diretamente o crescimento das raízes e da parte aérea do hospedeiro (DUTTA e PODILE, 2010; KHOSHURU *et al.*, 2020; AHMED e KIBRET, 2014).

As PGPRs promovem a saúde vegetal ao melhorar a absorção de nutrientes, proteger a planta contra patógenos e aumentar a tolerância a estresses bióticos e abióticos (PARRAY *et al.*, 2016). Muitos isolados são também capazes de aumentar a produtividade agrícola, induzir resistência sistêmica, favorecer a nodulação de plantas leguminosas e estimular a germinação de sementes (VEJAN *et al.*, 2016).

Os gêneros bacterianos mais comuns de PGPRs incluem *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Paenibacillus*, *Serratia*, *Streptomyces*, dentre outros (BHATTACHARYYA e JHA, 2012; KALAM *et al.*, 2020).

As PGPRs atuam por múltiplos mecanismos que contribuem para o crescimento e o desenvolvimento vegetal, sendo classificadas em mecanismos diretos e indiretos. Os mecanismos diretos atuam principalmente na disponibilização de nutrientes essenciais por meio da fixação biológica de nitrogênio e da solubilização de minerais, tais como o fósforo, o potássio, o zinco e o ferro. Além disso, os mecanismos diretos incluem a regulação dos níveis de auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico e etileno, promovendo a germinação de sementes, a rizogênese e o crescimento vegetativo (PARRAY *et al.*, 2016; KALAM, BASU e PODILE, 2020).

Os mecanismos indiretos são aqueles relacionados à proteção da planta contra fitopatógenos e pragas e decorrem da competição por nichos ecológicos, da produção de substâncias antimicrobianas, tais como antibióticos, sideróforos e cianeto de hidrogênio, bem como da liberação de enzimas líticas, como quitinases, glicanases e proteases, que degradam componentes da parede celular de patógenos e pragas (GOSWAMI, THAKKER e DHANDHUKIA, 2016; MEENA *et al.*, 2020). Outro mecanismo relevante é a indução de resistência sistêmica, que melhora a resposta imune da planta contra uma ampla gama de agentes patogênicos (BACKER *et al.*, 2018).

2.2.2 RIZOBACTÉRIAS DELETÉRIAS

As rizobactérias deletérias (DRB, do inglês *Deleterious Rhizobacteria*) são aquelas que colonizam sementes e raízes de plantas suprimindo o crescimento vegetal, sem, no entanto, causar danos aos tecidos da planta (KREMER, 2007). O interesse nas DRB relaciona-se principalmente com ao potencial desses microrganismos de promover a inibição de plantas daninhas, contribuindo para práticas de manejo agrícola menos dependentes de herbicidas. A capacidade de inibição de plantas pelas DRBs relaciona-se com a produção de antibióticos, fitotoxinas, ácido indolacético (AIA), ácido δ -aminolevulínico (ALA) e/ou ácido cianídrico (HCN) (DAHIYA; SINDHU, 2020).

As plantas dispõem de comunidades bacterianas na rizosfera que incluem tanto as DRBs quanto as PGPR. Esses dois grupos podem ter efeitos de promoção e inibição do crescimento a depender das espécies de plantas em questão (NEHL *et al.*, 1997; PHOUR; SINDHU, 2019). A inoculação de dois isolados bacterianos em plantas de mostarda, *Brassica juncea* L., e na planta daninha, *Lathyrus aphaca* L., induziu aumentos de até 191% na massa seca da parte aérea e das raízes da mostarda, e a diminuição de até 92% dessas variáveis na planta daninha, após 75 dias de cultivo (PHOUR; SINDHU, 2019). O efeito inibitório foi atribuído à produção de ácido δ -aminolevulínico (ALA) pelas bactérias (PHOUR; SINDHU, 2019).

Isolados de *Pseudomonas* também foram capazes de suprimir a germinação de sementes de trigo por meio da produção de níveis moderados de ácido indol-3-acético (AIA). Curiosamente, esses mesmos níveis de AIA promoveram o crescimento de plântulas de trigo, evidenciando que o efeito desse fitormônio varia de acordo com

o estágio de desenvolvimento da planta (TABATABAEI *et al.*, 2016). Além disso, o estudo demonstrou que, em condições de deficiência de nutrientes, as bactérias aumentam significativamente a produção e a secreção de AIA em comparação com ambientes com níveis adequados de nutrientes, visando estimular a produção de raízes e, conseqüentemente, a absorção de minerais (TABATABAEI *et al.*, 2016). Também, a inoculação de sementes de rabanete chinês e alface com quatro isolados de *Enterobacter sp.*, resultou na inibição do crescimento dessas plantas, sendo este efeito atribuído à produção elevada de AIA pelos isolados testados (PARK *et al.*, 2015).

Além disso, a inoculação de *R. raphanistrum* com estirpes de *Pseudomonas fluorescens* e *Alcaligenes xylosoxidans* levou à redução do crescimento da planta em convivência com a videira. Nesse caso, o efeito inibitório foi atribuído à produção de HCN pelos isolados bacterianos (FLORES-VARGAS; O'HARA, 2006). Interessantemente, eles isolados não tiveram efeitos deletérios sobre a videira e ainda estimularam a nodulação do trevo (FLORES-VARGAS; O'HARA, 2006). Finalmente, a inoculação de sementes de *Oenothera biennis* com *Klebsiella pneumoniae* inibiu a germinação desses propágulos por meio da produção de AIA e de amônia. Observou-se, também, aumentos nos níveis de ácido abscísico endógeno, regulador da dormência e da germinação, quando a inoculação foi realizada (KANG *et al.*, 2020).

Recentemente, um conjunto de 191 bactérias foi isolado a partir da rizosfera do picão-preto [*B. pilosa* L.] (KEHL, 2021). Os isolados, quando inoculados nessa planta em casa-de-vegetação, produziram efeitos neutros, de inibição ou de promoção do crescimento das plantas. Alguns deles inibiram o acúmulo de matéria seca da parte aérea em até 76%. Já na massa seca das raízes, a redução dessa variável foi de até 79% (KEHL, 2021). Em estudos posteriores verificou-se que alguns dos isolados eram capazes de interferir no balanço de competição entre o milho e o picão-preto (dados não publicados), abrindo novas oportunidades para o uso de microrganismos no controle integrado dessa planta daninha.

Estratégias de controle de plantas daninhas que envolvam microrganismos do solo, a exemplo do uso de rizobactérias deletérias, apresentam potencial de contribuir para a redução da dependência do uso de herbicidas. As rizobactérias deletérias podem suprimir ou retardar o crescimento vegetal, impedindo ou mitigando os efeitos da competição sobre a cultura. O uso de tais microrganismos pode, também, reduzir

a contaminação ambiental por herbicidas, contribuindo para o uso de práticas agrícolas mais sustentáveis.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Ecologia Microbiana (LEM), localizado no Instituto de Biotecnologia Aplicada à Agropecuária, e conduzidos na casa-de-vegetação do Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa – MG, Brasil. O cultivo das plantas daninhas foi conduzido de janeiro a março de 2025, perfazendo o total de 60 dias.

3.1 Seleção de isolados bacterianos rizosféricos

Os isolados bacterianos utilizados fazem parte do banco de bactérias da rizosfera do picão-preto [*B. pilosa* L.] (KEHL, 2021). Com base nos resultados obtidos em experimentos prévios (KEHL, 2021), foram selecionados seis isolados com base na capacidade de redução de 50% ou mais da produção de massa seca total do picão-preto. Os isolados selecionados corresponderam ao 87 (*Cellulosimicrobium* sp.), 125 (*Fictibacillus* sp.), 204 (*Brevundimonas* sp.), 211 (*Neobacillus* sp.), 212 (*Pseudoclavibacter* sp.) e 405 (*Microbacterium* sp.).

3.2 Reativação e constituição do estoque bacteriano

As bactérias selecionadas foram reativadas inicialmente em placas de Petri, contendo 20 mL do meio Ágar Nutriente. Após a formação de colônias, elas foram transferidas para tubos de ensaio contendo 5 mL meio líquido TSB e cultivadas em B.O.D à 28°C, por 96 h. Alíquotas de 1,7 mL das culturas bacterianas foram adicionadas em tubos do tipo Eppendorf de 2 mL, contendo 0,3 mL de glicerol para concentração final de 15%. Os tubos foram agitados em vórtex, congelados em nitrogênio líquido e armazenados em Ultrafreezer a -80°C.

3.3 Experimento em casa-de-vegetação

3.3.1 Coleta de sementes de plantas daninhas

As sementes de cinco espécies de plantas daninhas, sendo duas gramíneas, (falso-massambará [*Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf.] e capim-braquiária [*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) R.D.Webster]), e três eudicotiledôneas, [corda-de-viola (*Ipomoea cairica* (L.) Sweet.), caruru-de-espinho (*Amaranthus spinosus* L.) e picão-preto (*B. pilosa*)], foram coletadas durante o período de agosto a

novembro de 2024, no Vale da Agronomia [20°46'08.3" S 42°52'10.1" W], no Campus da UFV.

3.3.2 Montagem do experimento

Os experimentos foram conduzidos em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), sendo um para cada espécie de planta. Foram testados sete tratamentos de inoculação (seis isolados bacterianos e um controle sem inoculação), com quatro repetições, totalizando 28 unidades experimentais. Em cada unidade experimental, foram utilizadas dez sementes de picão-preto, caruru-de-espinho, capim-braquiária, capim-falso-massambará, e cinco sementes de corda-de-viola. As sementes foram previamente desinfestadas com etanol a 70% por 2 min, seguido de hipoclorito de sódio a 2% por 3 min, e lavadas cinco vezes com água destilada autoclavada. Após a desinfestação, as sementes foram inoculadas por imersão em 4mL da suspensão bacteriana (densidade ótica D.O.=0,6 em solução salina 0,85% NaCl) durante 60 min. Posteriormente à inoculação, realizou-se a semeadura em vasos de 1,8 L, contendo substrato SV SUBSTRATO VEGETAL (Vida Verde®). Quinze dias após a semeadura, realizou-se o desbaste das plantas, mantendo-se três plântulas por vaso. Nesse momento, aplicou-se inoculação de reforço, adicionando-se 4 mL suspensão bacteriana (D.O.= 0,6) em cada vaso. Durante todo o experimento, o substrato foi mantido úmido por irrigação via microaspersão duas vezes ao dia, complementada manualmente conforme a demanda hídrica e as condições climáticas.

3.3.3 Determinação de massa seca da parte aérea e raízes das plantas daninhas

Após 53 dias de cultivo de caruru-de-espinho, capim-braquiária, capim-falso-massambará e corda-de-viola e, aos 60 dias de cultivo de picão-preto, foram realizadas medidas da altura das plantas, do coleto até a folha mais nova completamente expandida, utilizando-se fita métrica. As plantas foram coletadas e a parte aérea separada das raízes. Os sistemas radiculares foram lavados com água corrente para remoção de partículas do substrato de cultivo. Os materiais vegetais foram acondicionados em sacos de papel e secos em estufa de ventilação forçada a 65 °C até peso constante. Em seguida, a massa seca das raízes e da parte aérea foi determinada por pesagem em balança com precisão de três casas decimais.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Todas as análises foram realizadas utilizando-se o *software* estatístico R.

3.4 Mecanismos de inibição e promoção de crescimento *in vitro*

3.4.1 Solubilização de fosfatos

Para a avaliação da capacidade de solubilização de fosfato, tubos de ensaio de 15 mL contendo 5 mL do meio NBRIP (10 g L⁻¹ de glicose; 5 g L⁻¹ de NH₄Cl; 1 g L⁻¹ de NaCl; 1 g L⁻¹ de MgSO₄·7H₂O; 15 g L⁻¹ de ágar; pH 7) [NAUTIYAL, 1999], suplementado com 5 g L⁻¹ com fosfato tricálcico, fosfato de alumínio, fosfato de ferro e fosfato de Araxá. Os tubos foram, então, inoculados com os isolados de forma a se obter a D.O. inicial de 0,1 e incubados por 7 dias, a 28°C e 150 rpm. Após a incubação, 2 mL do sobrenadante dos meios de cultura foram centrifugadas a 10.000 rpm, por 10 min, e o fósforo, medido no sobrenadante de acordo com Braga e Defilipo (1974).

3.4.2 Produção de ácido indol-3-acético (AIA)

A produção de ácido indol-3-acético (AIA) foi determinada utilizando-se o método do reagente de Salkowski (BRICK *et al.* 1991). Os isolados foram cultivados em caldo Casoy, suplementado com 5 mmol L⁻¹ de L-triptofano, por 96 h e 150 rpm. O sobrenadante do meio de cultura foi centrifugado a 10.000 rpm por 10 min. Um mililitro do sobrenadante foi misturado com 1 mL do reagente de Salkowsky (50 mL de ácido perclórico a 35% e 2 mL de FeCl₃ a 0,5 mol L⁻¹). A produção de cor rosa indicou a produção de AIA. A concentração desse composto foi estimada por espectrofotometria a 530 nm com base em curva padrão com concentrações do fitormônios variando de 10–100 µg mL⁻¹ (PATEL *et al.*, 2018).

3.4.3 Produção de sideróforos

Para a verificação da capacidade de produção de sideróforos do tipo catecol e hidroxamatos, Placas de Petri contendo 20 mL do meio de cultura ágar nutriente, foram inoculadas com três microgotas de 5 µL do sobrenadante de cultura em meio TSB a 28°C, por 24 h. As microgotas foram dispostas equidistantemente na superfície do meio nas placas de Petri, seguido da incubação a 28°C por 16 h. Após a incubação,

uma sobrecamada de ágar CAS foi adicionada, seguido de incubação por 4 dias a 28°C. A formação de halo de cor rosa, laranja ou amarelo claro indica a produção de catecol, hidroximato ou carboxilato, respectivamente (CABALLERO-MELLATO *ET AL.*, 2007).

3.4.4 Produção de amônia

Para a avaliação da capacidade dos isolados de mineralizar nitrogênio, cada isolado foi inoculado em tubo de ensaio de 50 mL, contendo 10 mL de peptona bacteriológica a 1%, e cloreto de sódio a 0,5%, para a D.O. final de 0,1. As culturas foram incubadas a 28°C por 48 h e a 150 rpm. Dois mililitros do sobrenadante foram centrifugados a 10.000 rpm por 10 min. Após a centrifugação, 200 µL do sobrenadante foram misturados com 1 mL de reagente de Nessler (100 g L⁻¹ de HgI₂, 70 g L⁻¹ de KI e 500 mL de NaOH a 32%) e água destilada para o volume final de 8,5 mL (CAPPUCCINO e SHERMAN, 1992). A quantificação da amônia foi determinada por espectrofotometria a 450 nm.

3.4.5 Produção de quitinase

Para a determinação qualitativa da produção de quitinase, Placas de Petri contendo 20 mL do meio de cultura para quitinolíticos (1 g L⁻¹ (NH₄)₂SO₄, 0,2 g L⁻¹ KH₂PO₄, 1,6 g L⁻¹ K₂HPO₄, 0,2 g L⁻¹ MgSO₄.7H₂O, 0,1 g L⁻¹ NaCl, 0,01 g L⁻¹ FeSO₄.7H₂O, 0,02 g L⁻¹ CaCl₂.2H₂O e 1,5% (p/v) de ágar), suplementado com 1% (p/v) de quitina coloidal (SKUJINS *et al.*, 1965), foram inoculadas com três microgotas de 5 µL do sobrenadante de cultura realizada em meio TSB a 28°C, por 24 h. As microgotas foram dispostas equidistantemente na superfície do meio na placa de Petri, seguido de incubação a 28°C por 96 h. A produção de quitinase foi confirmada pelo surgimento de halo translúcido ao redor das colônias formadas a partir das microgotas.

3.4.6 Produção de cianeto de hidrogênio

Para avaliação da capacidade dos isolados de produzir cianeto de hidrogênio, foram realizadas estrias simples em placas de Petri contendo 20 mL do meio King B. Internamente à tampa da placa, foi afixada uma tira de papel filtro quantitativo JP42 (Quanty®, com porosidade de 8 µm), de 1 x 3 cm, esterilizada em estufa a 180°C por

2 h e posteriormente embebida em solução de ácido pícrico a 0,5% preparada em carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 2%). As placas estriadas foram seladas com filme de PVC e incubadas a 28°C por 5 dias. A produção de HCN foi atestada pela mudança de coloração da tira de papel de amarelo para laranja, marrom ou marrom-avermelhado (BAKKER, SCHIPPERS, 1987).

3.4.7 Fixação biológica de nitrogênio

Para a avaliação da capacidade de fixação biológica de nitrogênio pelos isolados bacterianos, utilizou-se o meio semi-sólido NFb, isento de fontes nitrogenadas cuja composição, por litro, é a seguinte: 5 g de ácido D-málico, 5 mL de solução de K_2HPO_4 a 10%, 2 mL de solução de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ a 10%, 1 mL de solução de NaCl a 10%, 2 mL de solução de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a 1%, 2 mL de indicador azul de bromotimol (0,5% em KOH 0,2 M), 2 mL de solução de micronutrientes preparada com 0,2 g de $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0,235 g de MnSO_4 , 0,280 g de H_3BO_3 , 0,008 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0,024 g de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dissolvidos em 200 mL de água destilada, 4 mL de solução de Fe-EDTA a 1,64%, 4,5 g de KOH, 1 mL de solução de vitaminas, composta de 10 mg de biotina e 20 mg de cloridrato de piridoxina em 100 mL de água destilada estéril, e 1,8 g de ágar. O pH do meio foi ajustado para 6,8 antes da esterilização. Após o preparo, 5 mL do meio NFb foram distribuídos em tubos de ensaio de 10 cm de altura, tampados com algodão hidrófilo e esterilizados. Em seguida, 100 µL da cultura de cada isolado bacteriano cultivado em meio TSB a 28°C, por 24 h, foram inoculados nos tubos seguido da incubação a 28°C por 5 dias. Como controle negativo, foram utilizados tubos contendo o meio NFb, sem inoculação bacteriana. A capacidade de fixar nitrogênio foi averiguada pela mudança de coloração do meio de cultura de verde para azul.

3.5 Análises estatísticas de dados

Os experimentos laboratoriais, com variáveis-resposta quantitativas, foram montados em DIC com três repetições. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Todas as análises foram realizadas utilizando-se o *software* estatístico R.

4. RESULTADOS

4.1 Experimento em casa-de-vegetação

4.1.1 Efeitos da inoculação de rizobactérias em picão-preto

Os isolados testados apresentaram diferentes efeitos sobre a altura, o acúmulo de massa seca das raízes, de massa seca da parte aérea e de massa total das plantas de picão-preto (Figura 1 e 2). A inoculação com os isolados 87, 125, 204, 211, 212 e 405 não influenciou a altura das plantas de picão-preto (Figura 1A). Já o acúmulo de massa seca da parte aérea foi reduzido em plantas inoculadas com os isolados 125, 204 e 211 (Figura 1B), com decréscimo médio de 28% dessa variável. Os tratamentos com os isolados 211 e 405 promoveram maior acúmulo de matéria seca das raízes (Figura 1C), com aumento médio de 14% em comparação ao controle sem inoculação. O acúmulo de massa seca total não foi beneficiado pela inoculação (Figura 1D). Ao contrário, para essa variável, a inoculação com o isolado 125 provocou redução da massa seca total de 39% em relação ao controle (Figura 2D).

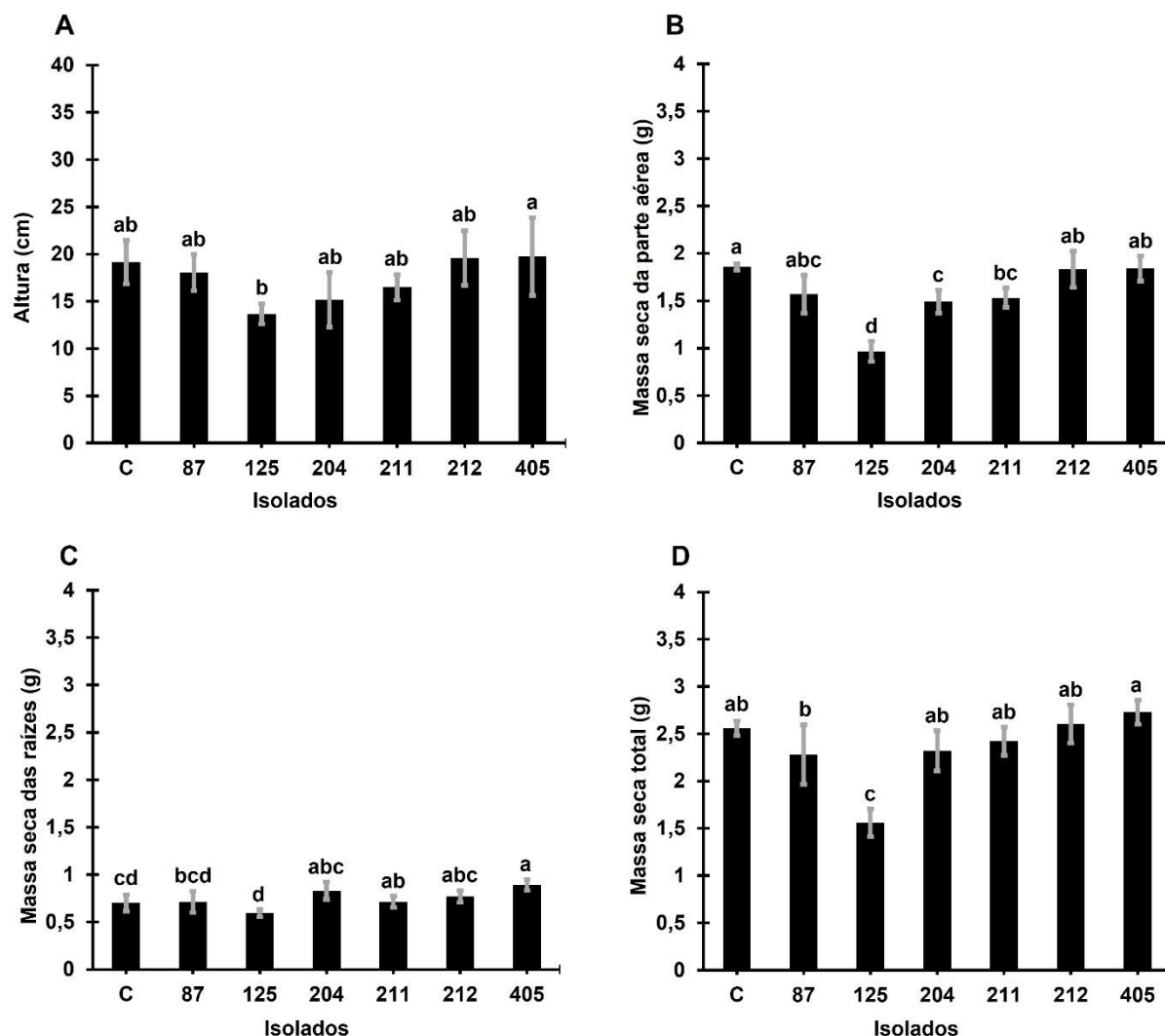


Figura 1 – (A) Altura, (B) massa seca da parte aérea, (C) massa seca da raiz e (D) massa seca total de plantas de *Bidens pilosa* L., inoculadas com isolados de rizobactérias (87 - *Cellulosimicrobium* sp., 125 - *Fictibacillus* sp., 204 - *Brevundimonas* sp., 211 - *Neobacillus* sp., 212 *Pseudoclavibacter* sp., e 405 - *Microbacterium* sp.) e controle sem inoculação (C - Controle), e cultivadas por 60 dias em casa-de-vegetação. Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



Figura 2 – Plantas de *Bidens pilosa* L. inoculadas com isolados de rizobactérias e cultivadas em casa-de-vegetação por 60 dias. (A) Controle não inoculado. (B) Planta inoculada com o isolado 125 de *Fictibacillus* sp.; observar efeito neutro na altura. (C) Planta inoculada com o isolado 405 de *Microbacterium* sp.; observar efeito neutro na altura.

4.1.2 Efeitos da inoculação de rizobactérias em caruru-de-espinho

Os isolados testados apresentaram efeitos neutros ou de promoção do crescimento do caruru-de-espinho (Figuras 3 e 4). Destaca-se o isolado 87, que promoveu aumento de 78% na altura das plantas. Os demais isolados não apresentaram diferença significativa ao controle, caracterizando-se como neutros (Figura 3A). Já o acúmulo de massa seca da parte aérea aumentou em plantas inoculadas com os isolados 87, 125, 212 e 405 (Figura 3B), com aumento médio de 199% dessa variável. Os tratamentos com os isolados 87, 125 (Figura 7C) apresentaram aumento significativo no acúmulo da massa seca das raízes, com média de 349%. Já para o acúmulo de massa seca total, os tratamentos com os isolados 87, 125, 212 e 405 (Figura 3D) apresentaram aumento médio de 215%.

4.1.3 Efeitos da inoculação de rizobactérias em corda-de-viola

Os isolados testados apresentaram efeitos neutros, de inibição ou de promoção do crescimento de corda-de-viola (Figuras 5 e 6). A inoculação com os isolados 87, 125, 204, 211, 212 e 405 não influenciou a altura das plantas (Figura 5A). Os tratamentos inoculados com os isolados 87, 125 e 204, sofreram redução do acúmulo da massa seca da parte aérea (Figura 5B), com média de 41%. Para o acúmulo de massa seca das raízes, os tratamentos com os isolados 87, 125 (Figura 5C) apresentaram redução média de 24%. Já para o acúmulo de massa seca total, os tratamentos com os isolados 87 e 125 (Figura 5D), apresentaram redução média de 37%. O isolado 211 destacou-se por promover o acúmulo de massa seca das raízes e total de 58 e 43 %, respectivamente (Figura 5 C e D).

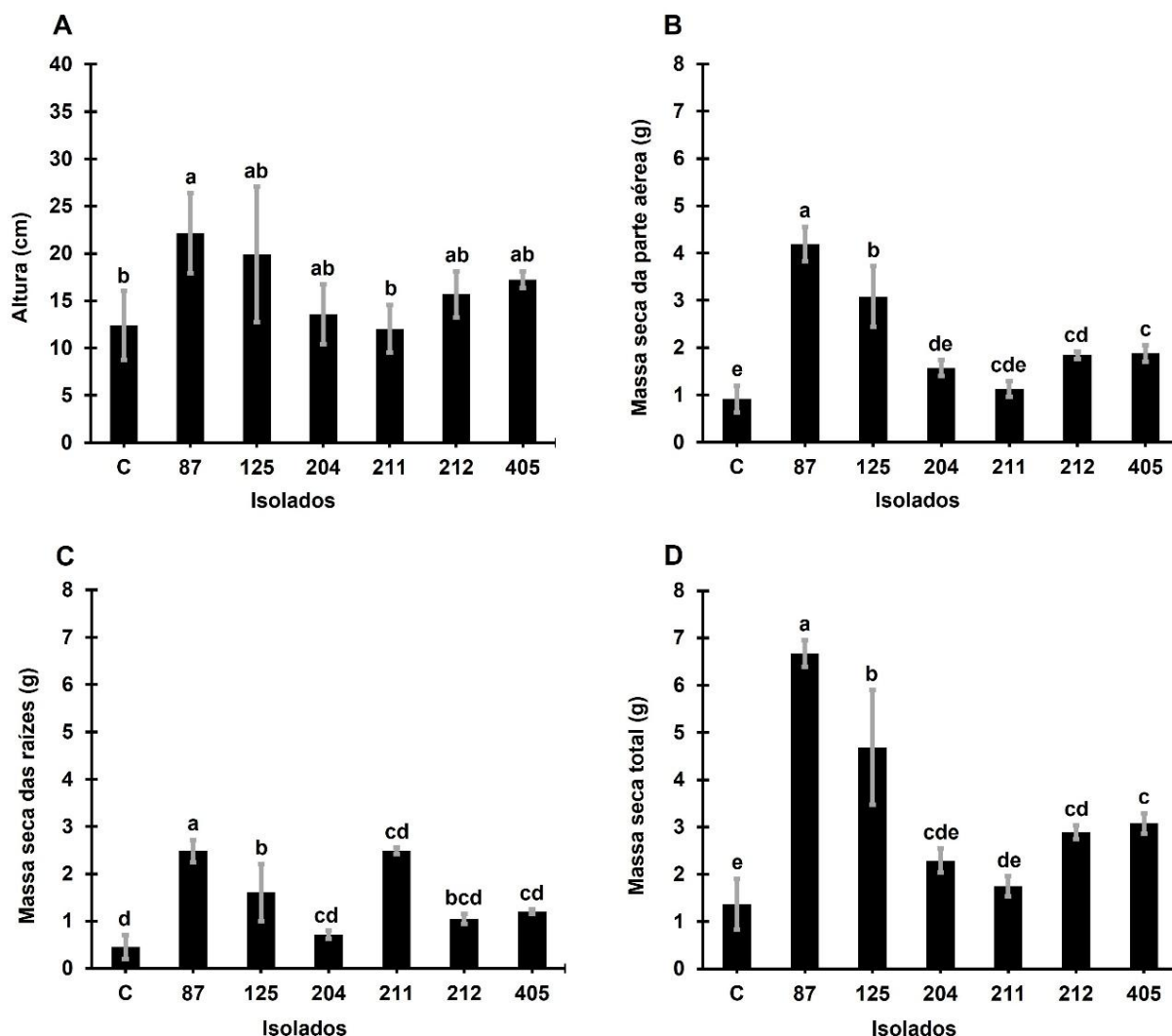


Figura 3 – (A) Altura, (B) massa seca da parte aérea, (C) massa seca da raiz e (D) massa seca total de plantas de *Amaranthus spinosus* L., inoculadas com isolados de rizobactérias (87 - *Cellulosimicrobium* sp., 125 - *Fictibacillus* sp., 204 - *Brevundimonas* sp., 211 - *Neobacillus* sp., 212 *Pseudoclavibacter* sp., e 405 - *Microbacterium* sp.) e controle sem inoculação (C - Controle), e cultivadas por 53 dias em casa-de-vegetação. Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).



Figura 4 – Plantas de *Amaranthus spinosus* L. inoculadas com isolados de rizobactérias e cultivadas em casa-de-vegetação por 53 dias. (A) Controle não inoculado. (B) Planta inoculada com o isolado 87 de *Cellulosimicrobium* sp.; observar efeito de aumento na altura. (C) Planta inoculada com o isolado 211 de *Neobacillus* sp.; observar efeito neutro na altura.

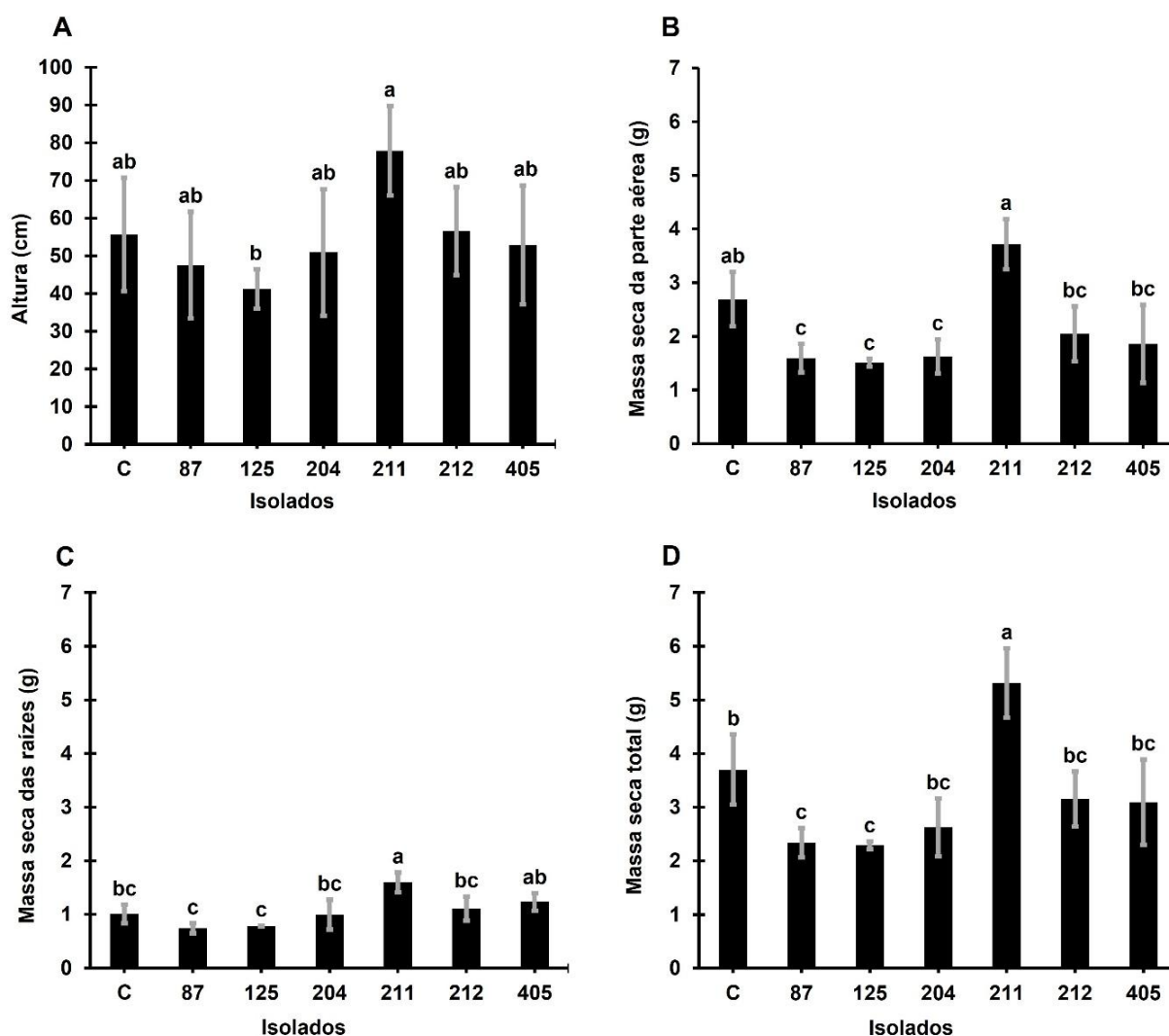


Figura 5 – (A) Altura, (B) massa seca da parte aérea, (C) massa seca da raiz e (D) massa seca total de plantas de *Ipomoea cairica* (L.) Sweet, inoculadas com isolados de rizobactérias (87 - *Cellulosimicrobium* sp., 125 - *Fictibacillus* sp., 204 - *Brevundimonas* sp., 211 - *Neobacillus* sp., 212 *Pseudoclavibacter* sp., e 405 - *Microbacterium* sp.) e controle sem inoculação (C - Controle), e cultivadas por 53 dias em casa-de-vegetação. Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

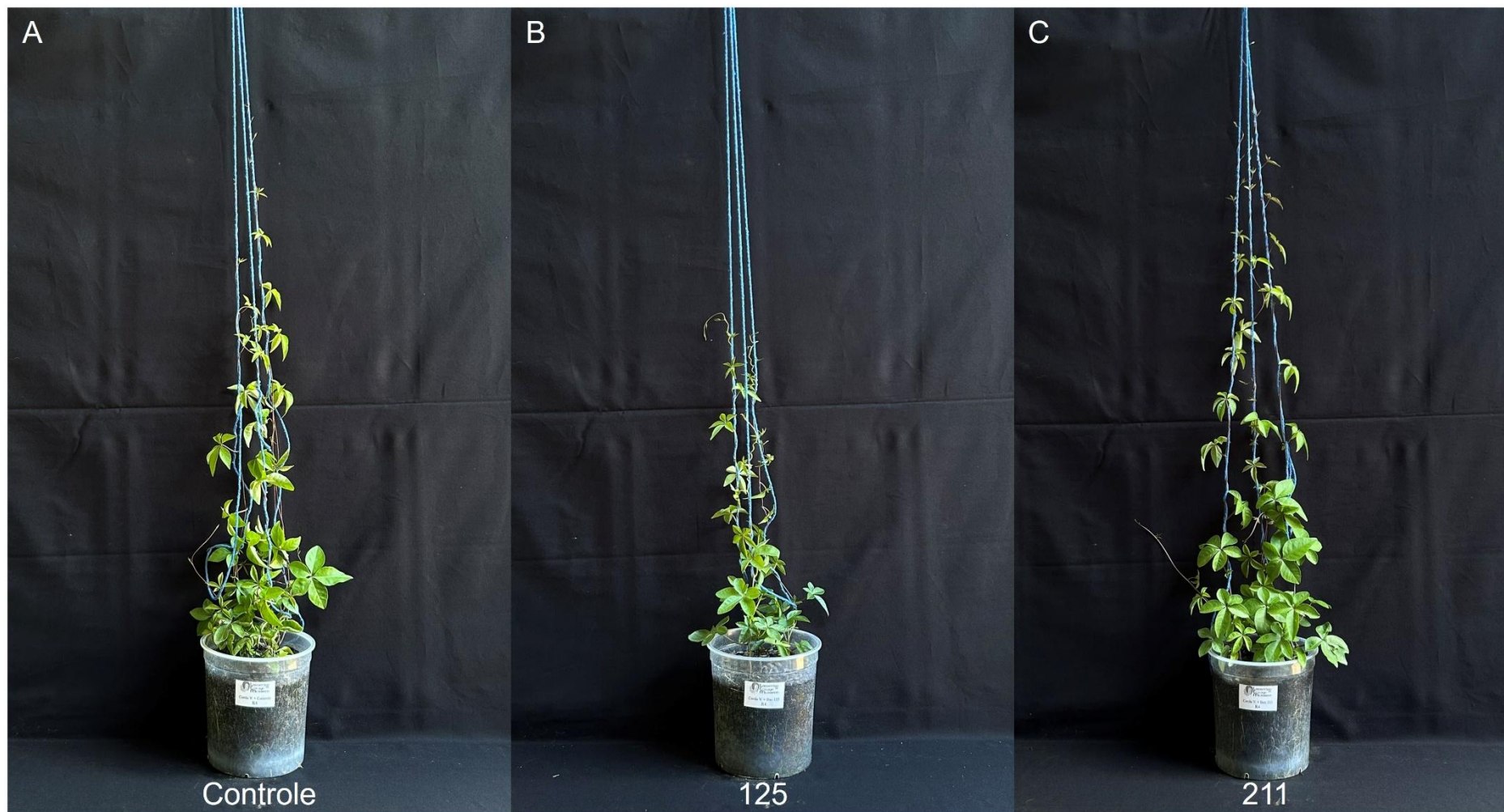


Figura 6 – Plantas de *Ipomoea cairica* (L.) Sweet. inoculadas com isolados de rizobactérias e cultivadas em casa-de-vegetação por 53 dias. (A) Controle não inoculado. (B) Planta inoculada com o isolado 125 de *Fictibacillus* sp.; observar efeito de redução da altura. (C) Planta inoculada com o isolado 211 de *Neobacillus* sp.; observar efeito de aumento da altura.

4.1.4 Efeitos da inoculação de rizobactérias em capim-braquiária

Os isolados testados apresentaram efeitos neutros ou de inibição do crescimento do capim-braquiária (Figuras 7 e 8). Apenas o isolado 212 apresentou redução significativa da altura das plantas (Figura 7A). Já o acúmulo de massa seca da parte aérea foi reduzido em plantas inoculadas com os isolados 87, 125, 211, 212 e 405 (Figura 7B), com média de 34% dessa variável. Os tratamentos com os isolados 87, 125 e 211 (Figura 7C) apresentaram redução significativa no acúmulo da massa seca das raízes, com redução média de 36%. Já para o acúmulo de massa seca total, os tratamentos com os isolados 87, 125, 211 e 405 (Figura 7D), apresentaram redução média de 34%.

4.1.5 Efeitos da inoculação de rizobactérias em capim-falso-massambará

A inoculação do capim-falso-massambará com os isolados testados não afetou as variáveis avaliadas ao final do experimento em comparação com o tratamento controle (Figuras 9 e 10).

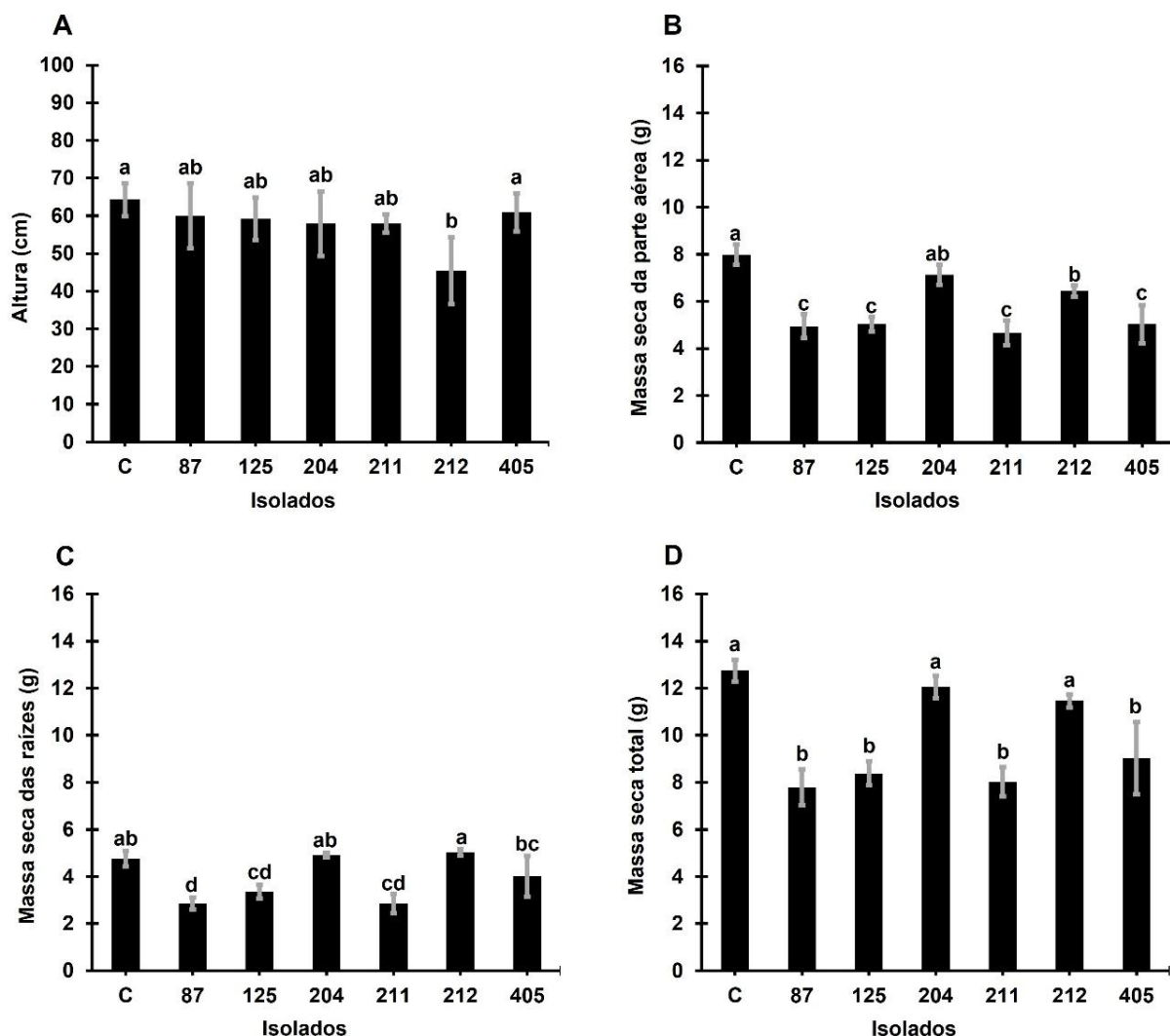


Figura 7 – (A) Altura, (B) massa seca da parte aérea, (C) massa seca da raiz e (D) massa seca total de plantas de *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) R.D.Webster, inoculadas com isolados de rizobactérias (87 - *Cellulosimicrobium* sp., 125 - *Fictibacillus* sp., 204 - *Brevundimonas* sp., 211 - *Neobacillus* sp., 212 *Pseudoclavibacter* sp., e 405 - *Microbacterium* sp.) e controle sem inoculação (C - Controle), e cultivadas por 53 dias em casa-de-vegetação. Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

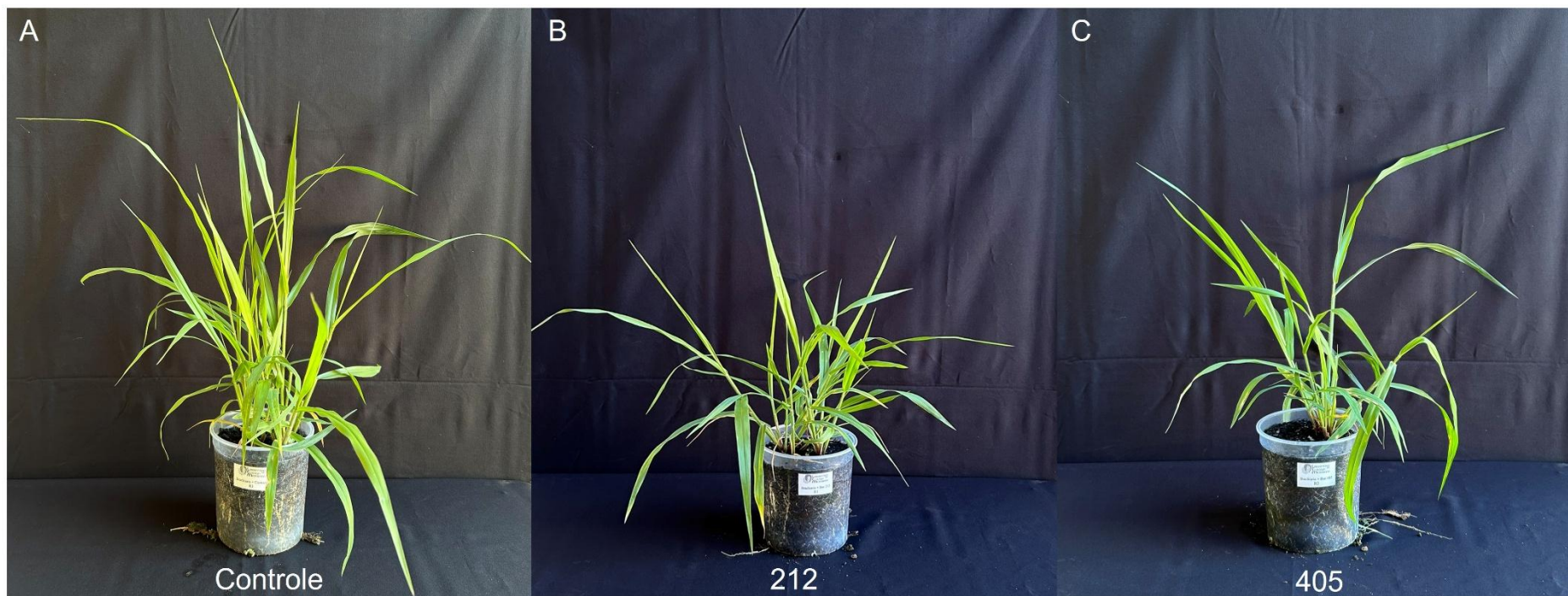


Figura 8 – Plantas de *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) R.D.Webster. inoculadas com isolados de rizobactérias e cultivadas em casa-de-vegetação por 53 dias. (A) Controle não inoculado. (B) Planta inoculada com o isolado 212 de *Pseudoclavibacter* sp.; observar efeito de redução da altura. (C) Planta inoculada com o isolado 405 de *Microbacterium* sp.; observar efeito neutro na altura.

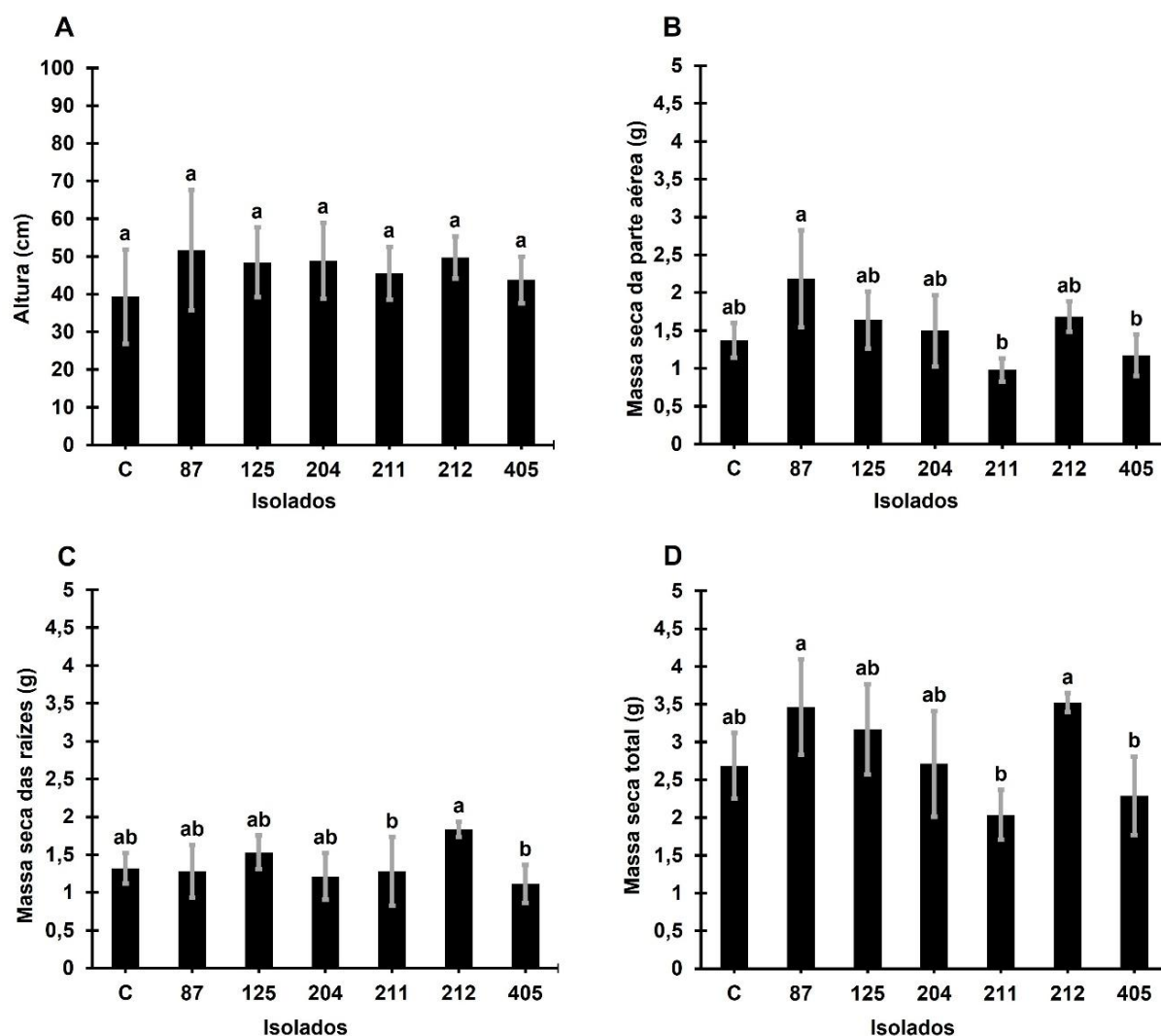


Figura 9 – (A) Altura, (B) massa seca da parte aérea, (C) massa seca da raiz e (D) massa seca total de plantas de *Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf, inoculadas com isolados de rizobactérias (87 - *Cellulosimicrobium* sp., 125 - *Fictibacillus* sp., 204 - *Brevundimonas* sp., 211 - *Neobacillus* sp., 212 *Pseudoclavibacter* sp., e 405 - *Microbacterium* sp.) e controle sem inoculação (C - Controle), e cultivadas por 53 dias em casa-de-vegetação. Barras seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

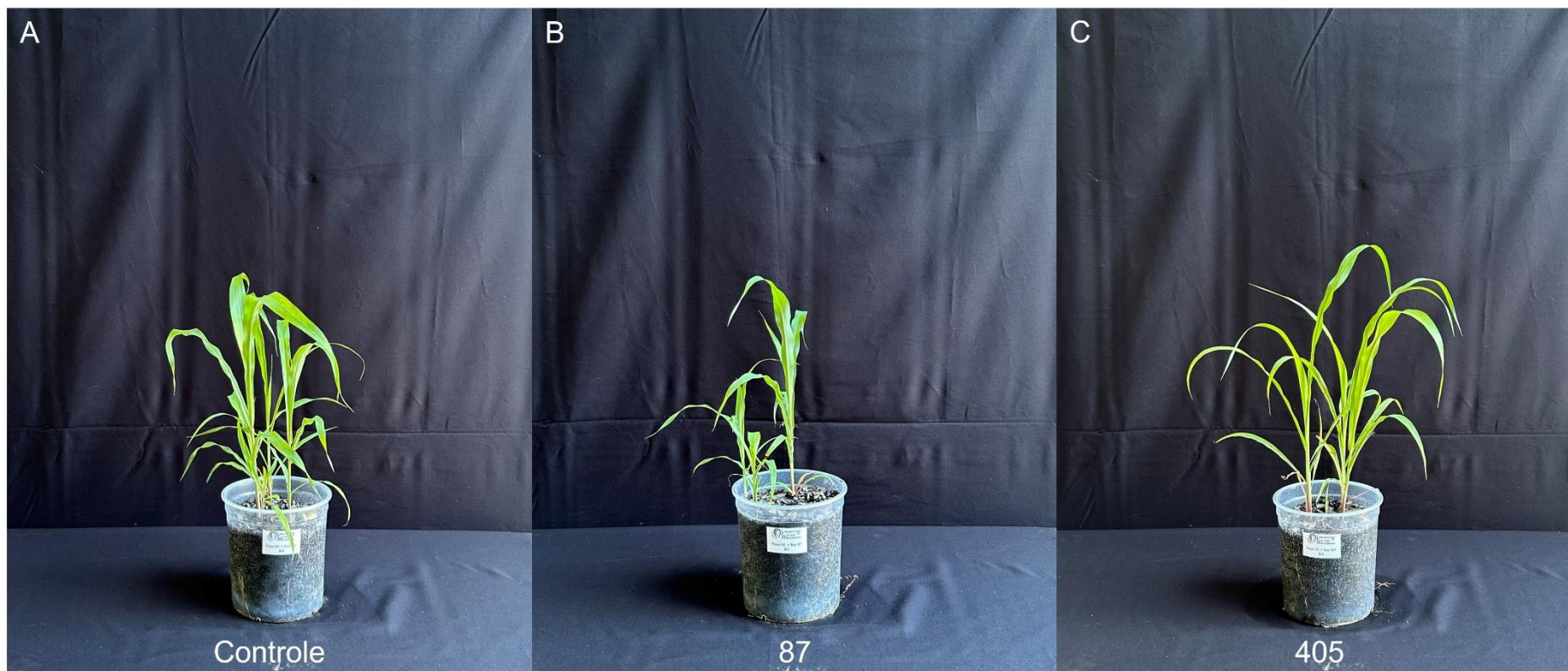


Figura 10 – Plantas de *Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf. inoculadas com isolados de rizobactérias e cultivadas em casa-de-vegetação por 53 dias. (A) Controle não inoculado. (B) Planta inoculada com o isolado 87 de *Cellulosimicrobium* sp.; observar efeito neutro da altura. (C) Planta inoculada com o isolado 405 de *Microbacterium* sp.; observar efeito neutro da altura.

Tabela 1 – Efeitos dos isolados sob altura, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST), sob as plantas de picão-preto (PP) [*B. pilosa* L.], caruru-de-espinho (CC) [*Amaranthus spinosus* L.], corda-de-viola (CV) [*Ipomoea cairica* (L.) Sweet.], capim-braquiária (CB) [*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) R.D.Webster] e falso-massambará (FM) [*Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf.], inoculadas com isolados de rizobactérias e cultivados em casa-de-vegetação.

Isolados/ Gênero	Altura					MSPA					MSR					MST				
	PP	CE	CV	CB	FM	PP	CE	CV	CB	FM	PP	CE	CV	CB	FM	PP	CE	CV	CB	FM
87 - <i>Cellulosimicrobium</i> sp.																				
125 - <i>Fictibacillus</i> sp.																				
204 - <i>Brevundimonas</i> sp.																				
211 - <i>Neobacillus</i> sp.																				
212 - <i>Pseudoclavibacter</i> sp.																				
405 - <i>Microbacterium</i> sp.																				

Efeito de inibição
 Efeito de promoção
 Efeito neutro

4.2 Mecanismos de inibição e promoção do crescimento *in vitro*

4.2.1 Solubilização de fosfatos

Todos os isolados testados foram capazes de solubilizar os fosfatos tricálcico, de alumínio, ferro e de Araxá (Figura 11). A maior eficiência de solubilização foi observada para o fosfato tricálcico, com valores de P solúvel de 1,45 a 118,33 mg L⁻¹ (FIGURA 11A). A concentração de P solúvel nos tratamentos com fosfato de alumínio variou de 2,22 a 4,23 mg L⁻¹, e a de fosfato de ferro, de 2,92 a 6,12 mg L⁻¹ (Figura 11 B e C). Já para o fosfato de Araxá, o destaque foi para o isolado 87, com a produção de 17,4 mg L⁻¹ de fósforo (11D).

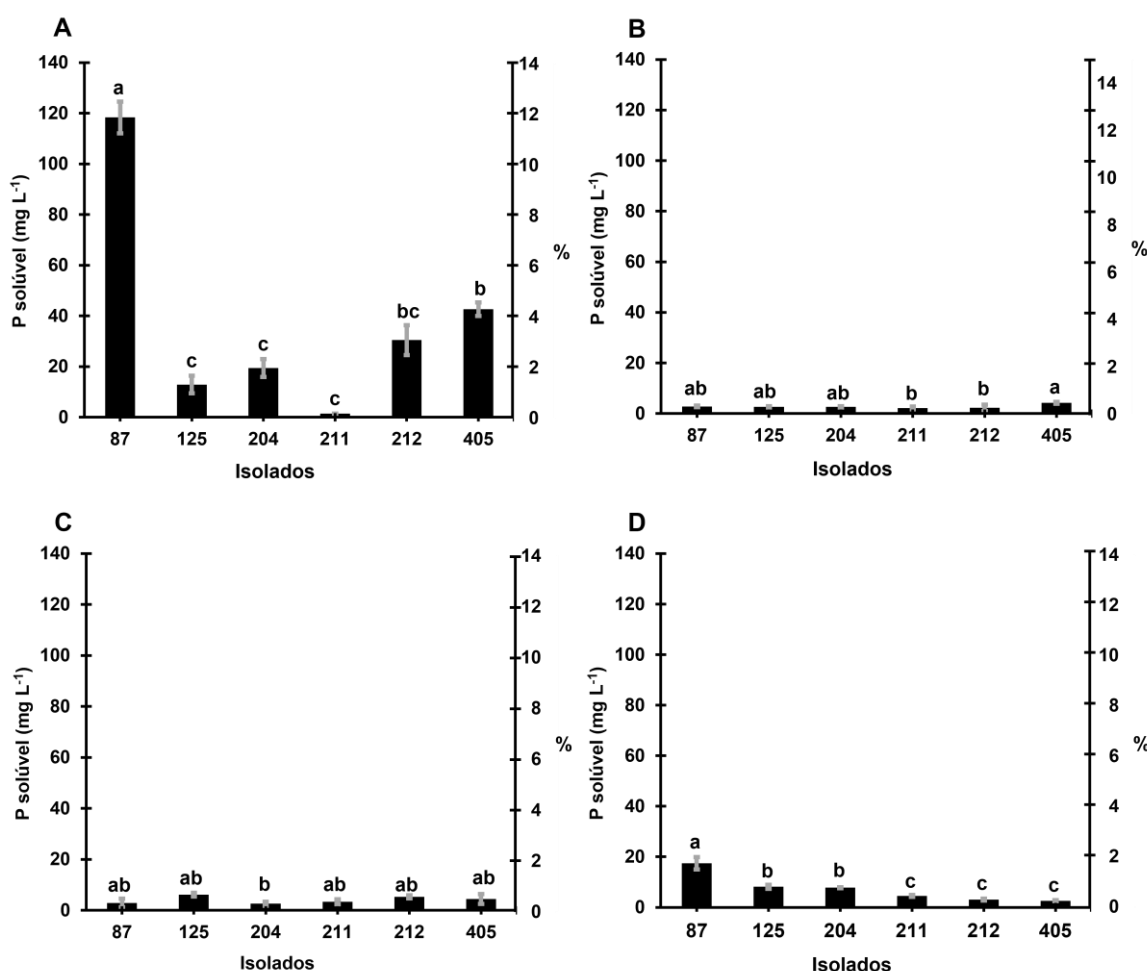


Figura 11 – Fósforo solúvel e porcentagem de solubilização medidos no sobrenadante do meio NBRIP, suplementado com fosfato tricálcico (A), fosfato alumínio (B), fosfato de ferro (C), e fosfato de Araxá (D), após o cultivo de isolados de rizobactérias provenientes de raízes de *Bidens pilosa* L. (87 - *Cellulosimicrobium* sp., 125 - *Fictibacillus* sp., 204 - *Brevundimonas* sp., 211 - *Neobacillus* sp., 212 *Pseudoclavibacter* sp., e 405 - *Microbacterium*

sp.), por 7 dias a 28°C. Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.2.2 Produção de ácido indol-3-acético (AIA)

Todos isolados apresentaram a capacidade de produção de AIA, cujas concentrações no sobrenadante do meio de cultura variaram de 1,24 a 10,25 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Figura 12). Os isolados mais eficientes na produção desse composto foram o 212 e o 125.

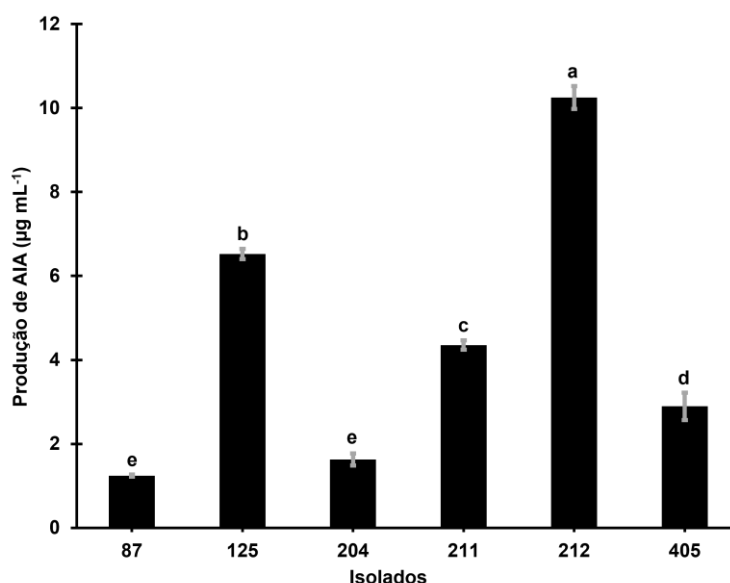


Figura 12 – Concentração de ácido indol-3-acético (AIA) medido no sobrenadante do meio de cultura Casoy suplementado com 5 mmol L^{-1} de L-triptofano, após o cultivo de isolados de rizobactérias (87 - *Cellulosimicrobium* sp., 125 - *Fictibacillus* sp., 204 - *Brevundimonas* sp., 211 - *Neobacillus* sp., 212 *Pseudoclavibacter* sp., e 405 - *Microbacterium* sp.), por 7 dias a 28°C. Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.2.3 Produção de amônia

Com a exceção do isolado 87, os demais foram capazes de produzir amônia no meio, indicando a capacidade de mineralização do nitrogênio orgânico (Figura 13). As concentrações de amônia no meio variaram de 0 a 0,34 $\mu\text{g mL}^{-1}$, sendo o isolado 204 e o 405 os mais eficientes (Figura 13).

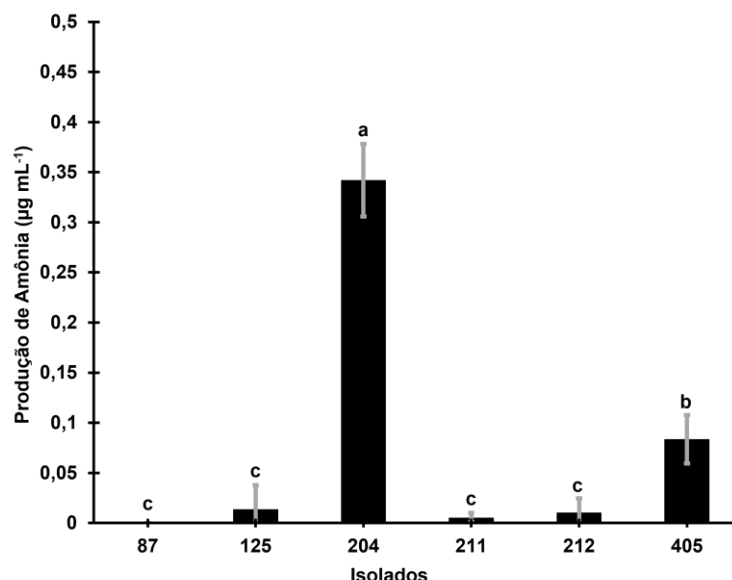


Figura 13 – Concentrações de amônia medido no sobrenadante do meio de cultura contendo peptona bacteriológica (1%) e cloreto de sódio (0,5%), após o cultivo de isolados de rizobactérias (87 - *Cellulosimicrobium* sp., 125 - *Fictibacillus* sp., 204 - *Brevundimonas* sp., 211 - *Neobacillus* sp., 212 *Pseudoclavibacter* sp., e 405 - *Microbacterium* sp.), por 7 dias a 28°C. Barras seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.2.4 Produção de quitinase

Somente os isolados 87, 204 e 211 foram capazes de produzir quitinase (Tabela 2; Figura 14).

Tabela 2 – Produção de quitinase, sideróforos cianeto de hidrogênio e fixação biológica de nitrogênio por rizobactérias isolados de raízes de *Bidens pilosa* L.

Isolados	Quitinase	Produção de Sideróforos	Produção de cianeto	Fixação Biológica de N
87	+	-	-	-
125	-	+	-	-
204	+	+	-	+
211	+	+	-	-
212	-	-	-	-
405	-	-	-	-
+	Positivo para a produção			
-	Negativo para a produção			

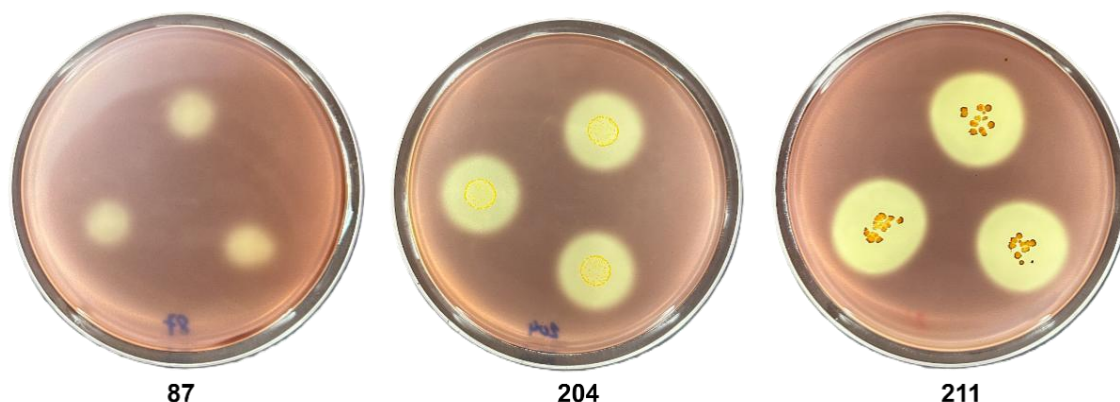


Figura 14 – Colônias de isolados de rizobactérias isoladas da rizosfera de *Bidens pilosa* L. em meio para quitinolíticos após 96 h de incubação a 28°C. Colônias do isolado 87 (*Cellulosimicrobium* sp.), 204 (*Brevundimonas* sp.) e 211 (*Neobacillus* sp), produtores de quitinase, apresentam halo transparente, resultante da degradação de quitina ao redor das colônias.

4.2.5 Produção de sideróforos

A produção de sideróforos foi verificada para os isolados 125, 204 e 211 (Tabela 1; Figura 15).

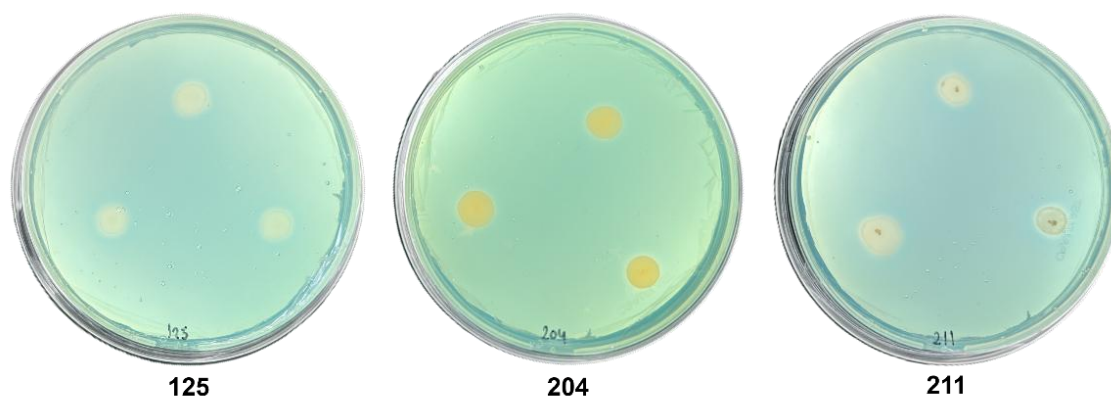


Figura 15 – Colônias de isolados de rizobactérias isoladas da rizosfera de *Bidens pilosa* L. em meio TSB com sobrecamada de ágar CAS após 96 h de incubação a 28°C. Colônias do isolado 125 (*Fictibacillus* sp.), 204 (*Brevundimonas* sp.) e 211 (*Neobacillus* sp), produtores de sideróforos apresentam halo transparente ao redor das colônias.

4.2.6 Produção de cianeto de hidrogênio

Nenhum dos isolados testados foi capaz de produzir cianeto de hidrogênio.

4.2.7 Fixação biológica de nitrogênio

Somente o isolado 204 apresentou resultado positivo para a atividade de fixação biológica de nitrogênio (Tabela 1; Figura 17).

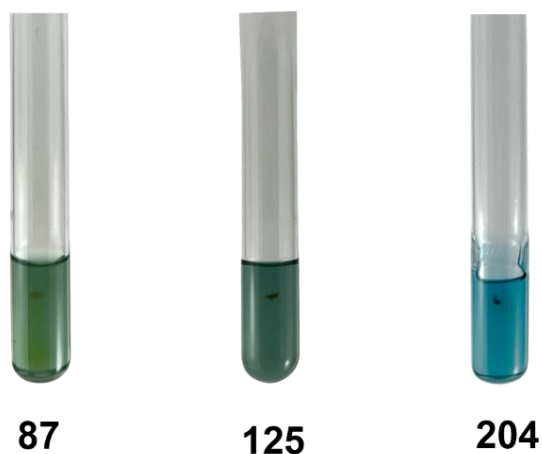


Figura 16 – Tubos de ensaio contendo o meio NFb semissólido, inoculados com os isolados 87 (*Cellulosimicrobium* sp.), 125 (*Fictibacillus* sp.) e 204 (*Brevundimonas* sp.), e incubados por 5 dias a 28°C. A atividade de fixação biológica foi diagnosticada pela mudança de coloração do meio de verde para azul. O isolado 204 foi o único capaz de realizar a atividade de fixação biológica de nitrogênio.

5. DISCUSSÃO

A inoculação de rizobactérias isoladas de raízes de *Bidens pilosa* L. proporcionou efeitos distintos no crescimento das plantas daninhas. Em alguns casos, houve promoção do crescimento, enquanto em outros, a inibição. Esses efeitos puderam ser observados por aumentos ou reduções no acúmulo de massa seca das raízes, de massa seca da parte aérea e de massa seca total. As bactérias selecionadas para este estudo foram caracterizadas por causarem reduções de 50% ou mais no acúmulo de massa seca de *B. pilosa* L. (KEHL, 2021). No entanto, no presente experimento, para essa mesma espécie de planta daninha, foram observados efeitos neutros, de inibição ou de promoção do acúmulo de massa seca, refletindo, possivelmente, condições experimentais distintas das de KEHL (2021), a exemplo da época do ano, tipo de substrato de plantio, dentre outros. Também, esperava-se que o efeito principal da inoculação com as DRBs em diferentes espécies de plantas daninhas fosse o de inibição. Assim, os dados aqui obtidos, além de demonstrar a complexidade das interações planta-microrganismo, que podem variar conforme o contexto ambiental (LEVIN, 1998), sugerem a necessidade de seleção prévia de DRBs para aplicação em ambientes e espécies vegetais específicas.

O fato de alguns isolados atuarem diferencialmente na promoção ou inibição do acúmulo de massa seca das raízes e da parte aérea abre a possibilidade de utilização deles em situações em que a competição cultura-planta daninha ocorra em nível de solo (raízes) ou em nível de parte aérea. Por exemplo, se a competição ocorre por nutrientes, o uso de isolados que inibam a rizogênese da planta daninha pode contribuir para a alteração do balanço de competição em favor da cultura.

Os efeitos de promoção ou inibição do crescimento vegetal aqui observados podem estar relacionados à expressão de atividades microbianas específicas, a exemplo da fixação biológica de nitrogênio, da solubilização de minerais, da produção de quitinase, de sideróforos, da produção de auxina e de HCN, dentre outros (GOSWAMI, THAKKER e DHANDHUKIA, 2016; PARRAY et al., 2016; KALAM, BASU e PODILE, 2020; MEENA et al., 2020). Algumas dessas atividades foram verificadas *in vitro*, no entanto, há a necessidade de se estudar a operação de mecanismos diretos e indiretos de promoção do crescimento vegetal *in vivo*. Sem essas informações, torna-se difícil o diagnóstico de quais mecanismos estão operantes durante a interação planta microrganismo.

Os isolados que inibiram o crescimento das plantas daninhas estudadas devem possivelmente ter efetuado tal inibição por meio da produção de compostos fitotóxicos específicos, como já relatado na literatura (KREMER e SOUISSI, 2001), ou pela competição por nutriente. Um dos compostos de conhecido efeito inibitório às plantas daninhas é o HCN (KREMER e SOUISSI, 2001). No entanto, nenhum dos isolados testados foram capazes de produzir esse composto *in vitro*. Assim, a inibição do acúmulo de massa seca total, observado para *B. pilosa* L., *I. cairica* L., *U. brizantha* U. *brizantha*, e para massa seca das raízes, observado para *U. brizantha*., pode estar relacionado à produção de outras substâncias fitotóxicas diferentes do HCN, a exemplo de antibióticos, fitotoxinas, ácido indol-3-acético (AIA) e ácido delta-aminolevulínico [ALA] (DAHIYA; SINDHU, 2020).

A maioria dos isolados promoveu o acúmulo de massa seca total das plantas de *A. spinosus*, e ao menos um teve o mesmo efeito sobre as plantas de *I. cairica*. Muitos isolados de DRBs com efeitos inibitórios sobre o crescimento de plantas daninhas podem ter efeito positivo sobre o crescimento de outras espécies (KEHL, 2021). As DRBs podem conter, em um único isolado e ao mesmo tempo, mecanismos de promoção e inibição do crescimento vegetal (dados não publicados). Por exemplo, fenótipos claramente inibidores do crescimento de picão-preto foram capazes de promover o crescimento do milho em casa-de-vegetação (KEHL, 2021).

No presente trabalho, os isolados 87 e 125 promoveram o crescimento de *A. spinosus*. No entanto, para as espécies *B. pilosa*, *I. cairica* e *U. brizantha*, a inoculação das plantas com esses mesmo isolados inibiu o acúmulo de massa seca total. Já para *S. arundinaceum*, o efeito desses isolados foi neutro. Como a expressão desses mecanismos de promoção e inibição do crescimento vegetal são regulados em função da espécie de planta e das condições ambientais ainda deve ser esclarecido. Além disso, esses resultados evidenciam que aplicações futuras de DRB na agricultura deverão considerar a espécie vegetal alvo para a máxima eficiência do manejo de plantas daninhas.

A análise dos isolados bacterianos revelou características funcionais importantes relacionadas à promoção de crescimento vegetal e ao potencial uso das bactérias testadas como bioinoculantes. Entre os mecanismos avaliados, destaca-se a produção de ácido indol-3-acético (AIA), cianeto de hidrogênio, quitinase, sideróforos, amônia e a capacidade de solubilização de diferentes fontes de fósforo,

características amplamente descritas como benéficas no contexto das rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR) (GOSWAMI *et al.*, 2016; MEENA *et al.*, 2020).

Todos os isolados testados apresentaram capacidade de produzir AIA, com destaque para os isolados 212 e 125, que produziram o composto a concentrações superiores a 10 mg mL⁻¹. A produção de AIA por PGPR é uma das principais estratégias de promoção de crescimento vegetal, contribuindo diretamente para o desenvolvimento de raízes e a formação de tecidos vasculares (KALAM; BASU; PODILE, 2020). A variação nos níveis de produção de AIA entre os isolados pode estar relacionada às diferenças na regulação da expressão de genes envolvidos na via do triptofano (LEBRAZI *et al.*, 2020). Isolados que produziram maiores concentrações desse composto apresentam maior potencial de aplicação biotecnológica, especialmente no enraizamento de estacas e crescimento inicial de mudas (GLICK, 2012). Além disso, as auxinas em altas concentrações podem contribuir para a redução do crescimento radicular de plantas daninhas (SARWAR e KREMER, 1995). Por exemplo, um isolado de *Enterobacter taylorae*, com alto potencial produtor de auxina (72 mg L⁻¹ equivalentes de AIA), inibiu o crescimento radicular da trepadeira-do-campo (*Convolvulus arvensis* L.) em 90,5%. No presente trabalho, o isolado 125, apesar de ser bom produtor desse composto, apresentou efeito inibitório sobre o acúmulo de massa seca das raízes de picão-preto e de *U. brizantha*.

Os isolados testados foram capazes de solubilizar diferentes fontes de fósforo pouco solúveis, a saber, o fosfato tricálcico, o fosfato de alumínio, o fosfato de ferro e o fosfato de Araxá. O fosfato tricálcico foi solubilizado com maior eficiência pelo isolado 87, atingindo valores de liberação de P solúvel de 12% do total do fósforo contido nessa fonte. Em geral, o fosfato tricálcico é o mais reativo, podendo ser solubilizado significativamente pela simples acidificação do meio via extrusão de prótons ou dissociação de carboxilas (LIN *et al.* 2006). Interessantemente, a solubilização do fosfato de Araxá foi melhor do que a dos fosfatos sintéticos (fosfato de alumínio e fosfato de ferro). Em geral, durante a solubilização do fosfato de Araxá, há a liberação concomitante de flúor, que inibe o crescimento e a atividade microbiana (MENDES *et al.*, 2013). Dessa forma, o processo de solubilização passa ser progressivamente inibido (MENDES *et al.*, 2013). Os fosfatos de alumínio e ferro

apresentaram menor solubilidade, corroborando o que é descrito na literatura quanto à maior dificuldade de solubilização desses compostos em meios com valores de pH elevado (RODRIGUEZ *et al.*, 2000), como é o caso do meio de cultura utilizado neste trabalho, cujo pH inicial foi de 6,8. A capacidade de solubilizar fosfatos naturais e sintéticos evidencia o potencial dos isolados testados em auxiliar a planta hospedeira em obter fósforo do solo a partir de minerais pouco solúveis. No entanto, estudos adicionais deverão ser conduzidos para mensurar os reflexos da solubilização microbiana de fosfatos *in situ* sobre o acúmulo e a eficiência de utilização desse nutriente pela planta.

Todos os isolados testados foram capazes de produzir amônia quando cultivados em caldo peptonado, indicando o potencial deles de atuarem na mineralização da matéria orgânica do solo. Este fato é de particular relevância haja vista que o nitrogênio é, juntamente com o fósforo, um dos nutrientes mais limitantes à produtividade das culturas (ÅGREN, 2012). Essa atividade pode favorecer o crescimento vegetal, especialmente quando opera em sinergismo com outros mecanismos de promoção do crescimento (AHEMAD; KIBRET, 2014). Além da mineralização de nitrogênio, o isolado 204 apresentou potencial de fixação biológica desse elemento, mecanismo relevante para redução da dependência da agricultura por fertilizantes nitrogenados sintéticos (RILLING *et al.*, 2019). No entanto, considera-se que essa característica não implica necessariamente em transferência do N fixado para a planta (MANTELIN e TOURAINE, 2004).

No presente trabalho, três isolados, 87, 204 e 211, foram capazes de produzir quitinase em teste qualitativo realizado em placas de Petri. A produção dessa enzima é característica desejável para o controle biológico de patógenos fúngicos e pragas, pois ela participa da degradação da parede celular de fungos patogênicos e do exoesqueleto de insetos (MEENA *et al.*, 2020; VELIZ *et al.*, 2017). Além disso, pode contribuir para disponibilização de nitrogênio para as plantas a partir da hidrólise da quitina no solo (CHANDRA *et al.*, 2022).

Os isolados 125, 204 e 211 foram positivos para a produção de sideróforos, compostos que desempenham papel fundamental na aquisição de ferro em ambientes com baixa disponibilidade do elemento, a exemplo da solução do solo cujas concentrações de Fe^{3+} são baixíssimas e equivalem a $10^{-17} \text{ mol L}^{-1}$ (Lindsay, 1979). Os sideróforos podem, também, limitar o acesso de patógenos a esse micronutriente

essencial (CABALLERO-MELLADO *et al.*, 2007). De fato, a produção de sideróforos por rizobactérias é considerada importante na supressão de patógenos de plantas (SIDDIQUI, 2006).

Em conjunto, nossos dados evidenciaram a capacidade dos isolados testados em inibir ou promover o crescimento de plantas daninhas, indicando o potencial de uso para o estabelecimento de práticas de manejo de plantas daninhas menos dependentes do uso de herbicidas e mais sustentáveis do ponto de vista ambiental.

6. CONCLUSÃO

Os isolados bacterianos testados apresentam efeitos distintos quanto à capacidade de inibir ou promover o crescimento de *Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf, *Urochloa brizantha*, *Ipomoea cairica*, *Amaranthus spinosus* L. e *Bidens pilosa* L.

A capacidade de inibir ou promover o crescimento vegetal depende da espécie de planta em combinação com cada um dos isolados.

Os isolados avaliados expressam alguns mecanismos de promoção de crescimento vegetal *in vitro*.

Esses mecanismos podem atuar de maneira sinérgica na promoção de crescimento vegetal ou na supressão de espécies de plantas indesejadas, com implicações promissoras, tanto para o manejo sustentável de plantas daninhas quanto para o desenvolvimento de bioinsumos.

Estudos futuros deverão ser realizados para avaliar o papel dos isolados testados no balanço das interações planta daninha-cultura.

7. REFERÊNCIAS

- AGRA, M. DE F.; FREITAS, P. F. DE; BARBOSA-FILHO, J. M. Synopsis of the plants known as medicinal and poisonous in Northeast of Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 17, n. 1, p. 114–140, 2007.
- ÅGREN, G. I.; WETTERSTEDT, J. Å. M.; BILLBERGER, M. F. K. Nutrient limitation on terrestrial plant growth - modeling the interaction between nitrogen and phosphorus. **New Phytologist**, v. 194, n. 4, p. 953–960, 2012.
- AGUIAR, A. C. M.; MENDES, K. F.; BARCELLOS JÚNIOR, L. H.; SILVA, E. M. G., SILVA, A. A. Aspectos da biologia e ecofisiologia de plantas daninhas. **Plantas daninhas: biologia e manejo**. v.1, cap. 1, p. 9-39. 2022.
- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **Journal of King Saud University - Science**, v. 26, n. 1, p. 1–20, 2014.
- BACKER, R.; ROKEM, J.S.; ILANGUMARAN, G.; LAMONT, J.; PRASLICKOVA, D.; RICCI, E.; SUBRAMANIAN, S.; SMITH, D.L. Plant growth-promoting rhizobacteria: context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 2018.
- BAKKER, A. W.; SCHIPPERS, B. Microbial cyanide production in the rhizosphere in relation to potato yield reduction and *Pseudomonas* spp.-mediated plant growth-stimulation. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 4, p. 451–457, 1987.
- BELLE C.; KULCZYNSKI, S. M.; KASPARY, T. E.; KUHN, P.R. Plantas daninhas como hospedeiras alternativas para *Meloidogyne incognita*. **Nematropica**, v. 47, p. 26-33, 2017.
- BHATTACHARYYA, P. N.; JHA, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, n. 4, p. 1327–1350, 2011.
- BIONDO, E.; FLECK, M.; KOLCHINSKI, E.M., SANT'ANNA, V.; POLES, R.G. Diversidade e potencial de utilização de plantas alimentícias não convencionais no Vale do Taquari,RS. **Revista Eletrônica Científica Da UERGS**, v.4, n.1, p.61-90, 2018.
- BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, set. 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106705/1/Ciclagem-de-nutrientes.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2025.
- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, Viçosa, v.21, p. 73-85, 1974.

- BRICK, J. M.; BOULTON, T. L.; PANTONI, R. J. Root growth enhancement from *Pseudomonas putida* applied to maize seed. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 57, n. 4, p. 947–952, 1991.
- BRIGHENTI, A.M.; OLIVEIRA M.F. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INQUE, M.H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**, Curitiba: Omnipax, p.1-36, 2011.
- BUÉE, M.; DE BOER, W.; MARTIN, F.; VAN OVERBEEK, L.; JURKEVITCH, E. The rhizosphere zoo: An overview of plant-associated communities of microorganisms, including phages, bacteria, archaea, and fungi, and of some of their structuring factors. **Plant Soil**, 321, 189–212, 2009.
- CABALLERO-MELLADO J.; ONOFRE-LEMUS J.; ESTRADA-DE LOS SANTOS P.; MARTÍNEZ-AGUILAR L. The tomato rhizosphere, an environment rich in nitrogen-fixing Burkholderia species with capabilities of interest for agricultura and bioremediation. **Applied and Environmental Microbiology**, v.73 p. 5308-5319, 2007.
- CAPPUCCINO, J.; SHERMAN, N. Microbiology: A laboratory manual. 10. Ed. **Boston: Person**, 2014.
- CHANDRA, K.; ROY CHOWDHURY, A.; CHATTERJEE, R.; CHAKRAVORTTY, D. GH18 family glycoside hydrolase chitinase a of *Salmonella* enhances virulence by facilitating invasion and modulating host immune responses. **PloS Pathogens**, v. 18, n. 4, p. e1010407, 2022.
- CORDEIRO, J.M.P., FÉLIX, L.P. Conhecimento botânico medicinal sobre espécies vegetais nativas da caatinga e plantas espontâneas no agreste da Paraíba, Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v. 16, p. 685-692, 2014.
- DAHIYA, A.; CHAHAR, K.; SINDHU, S. S. The rhizosphere microbiome and biological control of weeds: A review. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 17, n. 4, p. e10R01, 2020.
- DE LA FUENTE CANTÓ, C.; SIMONIN, M.; KING, E.; MOULIN, L.; BENNETT, M.J.; CASTRILLO, G.; LAPLAZE, L. An extended root phenotype: The rhizosphere, its formation and impacts on plant fitness. **The Plant Journal**, v. 103, n. 3, p. 951–964, 2020.
- DUTTA, S.; PODILE, A.R. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): The bugs to debug the root zone. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 36, n. 3, p. 232–244, 2010.
- FAO. Pesticides Use. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- FIALHO, C. M. T.; SILVA, G. S.; FAUSTINO, L. A.; CARVALHO, F. P.; COSTA, M.D.; SILVA, A.A. Associação micorrízica em soja e plantas daninhas em competição. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 2, p. 171, 2016.

- FLORES-VARGAS, R. D.; O'HARA, G. W. Isolation and characterization of rhizosphere bacteria with potential for biological control of weeds in vineyards. **Journal of Applied Microbiology**, v. 100, n. 5, p. 946-954, 2006.
- GLICK, B. R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 1–15, 2012.
- GOSWAMI, D.; THAKKER, J.N.; DHANDHUKIA, P.C. Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. **Cogent Food Agriculture**, v.2, n. 1, 2016.
- HAMMER, D.J.; STOLTENBERG, D. E.; COLQUHOUN, J. B.; CONLEY, S. P. Has Breeding Improved Soybean Competitiveness with Weeds? **Weed Science**, v.66, n. 1, p. 57-61, 2018.
- Huang, S.; Pan, J.; Tuwang, M.; Li, H.; Ma, C.; Chen, M.; Lin, X. Isolation, screening, and degradation characteristics of a quinclorac-degrading bacterium, strain d, and its potential for bioremediation of rice fields polluted by quinclorac. **Microbiology Spectrum**, v. 9, n. 2, 2021.
- JESUS, B.; SANTANA, K.; OLIVEIRA, V.; CARVALHO, M.; & ALMEIDA, W. A. PANCs - Plantas alimentícias não convencionais, benefícios nutricionais, potencial econômico e resgate da cultura: uma revisão sistemática. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 33, 2020.
- KALAM, S.; BASU, A.; PODILE, A.R. Functional and molecular characterization of plant growth promoting *Bacillus* isolates from tomato rhizosphere. **Heliyon**, v. 6, n.8, p. e04734, 2020.
- KALAM, S.; DAS, S.N.; BASU, A.; PODILE, A.R. Population densities of indigenous acidobacteria change in the presence of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in rhizosphere. **Journal of Basic Microbiology**, v. 57, n.5, p. 376–385, 2017.
- KANG, S. M.; BILAL, S.; SHAHZAD, R.; KIM, Y. N.; PARK, C. W. Effect of ammonia and indole-3-acetic acid producing endophytic *Klebsiella pneumoniae* YNA12 as a bio-herbicide for weed inhibition: Special reference with evening primroses. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 761, 2020.
- KEHL, L. G. H. Isolamento de rizobactérias do picão-preto e caracterização da promoção ou inibição do crescimento de plantas. **Tese mestrado UFV**, 2021.
- KHOSHURU, B.; MITRA, D.; MANZAR, E. K.; MYO, E.M.; UNİYAL, N.; MAHAKUR, B.; MOHAPATRA, P.K.; PANNEERSELVAM, P.; BOUTAJ, H.; ALIZADEH, M.; et al. Current scenario and future prospects of plant growth-promoting rhizobacteria: An economic valuable resource for the agriculture revival under stressful conditions. **Journal of Plant Nutrition**. v. 43, n. 20, p. 3062–3092, 2020.
- KLOEPPER, J. W.; SCHROTH, M. N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PLANT PATHOGENIC BACTERIA. **Angers**, n. 4, p. 879-882, 1978

- KOZLOWSKI, L.A.; KOEHLER, H. S.; PITELLI, R. A. Épocas e extensões do período de convivência das plantas daninhas interferindo na produtividade da cultura do milho (*Zea mays*). **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 481-490, 2009.
- KREMER, R. J. Deleterious rhizobacteria. In: *Plant-associated bacteria*. **Springer eBooks**, p. 335-357, 2007.
- LEBRAZI, S.; FADIL, M.; CHRAIBI, M.; FIKRI-BENBRAHIM, K. Screening and optimization of indole-3-acetic acid production by *Rhizobium* sp. strain using response surface methodology. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 18, n. 1, Art. 21, 2020.
- LEVIN, S. A. Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems. **Ecosystems**, v. 1, n. 5, p. 431-436, 1998.
- LIN, T. F.; HUANG, H. I.; SHEN, F.-T.; YOUNG, C.-C. The protons of gluconic acid are the major factor responsible for the dissolution of tricalcium phosphate by *Burkholderia cepacia* CC-A174. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 7, p. 957-960, 2006.
- Lindsay, W.L. Chemical Equilibria in Soils. **John Wiley & Sons**, New York., 1979
- MEENA, M.; SWAPNIL, P.; DIVYANSHU, K.; KUMAR, S.; TRIPATHI, Y.N.; ZEHRA, A.; MARWAL, A.; UPADHYAY, R.S. PGPR-mediated induction of systemic resistance and physiochemical alterations in plants against the pathogens: Current perspectives. **Journal of Basic Microbiology**. v. 60, n. 10, p. 828–861, 2020.
- MENDES, G. O.; Vassilev, N.B.; Bonduki, V. H. A.; Silva, I. R.; JUNIOR, J. I. R.; Costa, M.D. Inhibition of *Aspergillus niger* phosphate solubilization by fluoride released from rock phosphate. **Applied and Environmental Microbiology**, v.79, n. 16, p. 4906–4913, 2013.
- MENDES, K. F.; SILVA, A. A. Plantas daninhas: biologia e manejo. **Oficina de Textos**, v. 1, 2022.
- NAUTIYAL, C. S. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 170, n. 1, p. 265-270, 1999.
- NEHL, D. B.; ALLEN, S. J.; BROWN, J. F. Deleterious rhizosphere bacteria: an integrating perspective. **Applied Soil Ecology**, v. 5, n. 1, p. 1-20, 1997.
- OLIVEIRA, R.A.G.; RANDO, J.S.S. Diversidade de insetos em plantas hospedeiras próximas às áreas de cultivo de milho e algodão. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 35-40, 2017.
- PARK, J. M.; RADHAKRISHNAN, R.; KANG, S. M.; LEE, I. J. IAA producing *Enterobacter* sp. I-3 as a potent bio-herbicide candidate for weed control: a special reference with lettuce growth inhibition. **Indian Journal of Microbiology**, v. 55, n. 2, p. 207-212, 2015.

- PARRAY, J. A.; JAN, S.; KAMILI, A. N.; QADRI, R. A.; EGAMBERDIEVA, D.; AHMAD, P. Current perspectives on plant growth-promoting rhizobacteria. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 35, n. 3, p. 877–902, 2016.
- PATEL, D.; PATEL, A.; VORA, D.; MENON, S.; VADAKAN, S.; ACHARYA, A.; GOSWAMI, D. A resourceful methodology to profile indolic auxins produced by rhizo-fungi using spectrophotometry and HPTLC. **3 Biotech**, v. 8, n. 10, p. 437, 2018.
- PHOUR, M.; SINDHU, S. S. Bio-herbicidal effect of 5-aminoleveulinic acid producing rhizobacteria in suppression of *Lathyrus aphaca* weed growth. **BioControl**, v. 64, n. 2, p. 221-232, 2019.
- PITELLI, R.A. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série Técnica IPEF**, v. 4, n. 12, p. 1-24, 1987.
- SANTOS, E. A.; FERREIRA, L. R.; COSTA, M. D.; DA SILVA, M. C. S. Occurrence of symbiotic fungi and rhizospheric phosphate solubilization in weeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 1, p. 49-55, 2013.
- SCAVO, A.; RESTUCCIA, A.; ABBATE, C.; MAUROMICALE, G. Seeming field allelopathic activity of *Cynara cardunculus* L. reduces the soil weed seed bank. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 39, art. 41, 2019.
- SILVA, A.A.P.; NETO, A. M. O.; GUERRA, N.; HELVIG, E. O.; MACIEL, C. D. G. Interference periods among weeds and soybean RRTM crops in the western center area of the Brazilian state of Paraná. **Planta Daninha**, v. 33, n. 4, p. 707-716, 2015.
- SKUJINS, J.J.; POTGIETER, H.J.; ALEXANDER, M. Dissolution of fungal cell walls by a streptomycete chitinase and β -(1-3) glucanase. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 111, n. 2, p. 358-364, 1965.
- SOARES FILHO, A.O.; DE PAULA, A.; DOS SANTOS, A. A.; DE OLIVEIRA, C. V.; D'Soares, C. S.; DOS SANTOS, F. S.; CARVALHO, R. C. F.; PEREIRA, J. E. S. Plantas ruderais no Planalto Conquistense, Bahia e sua importância. **Natureza on line**, v. 14, n. 2, p. 27-43, 2016.
- SOARES, I. A. A.; FREITA, F. C. L.; NEGREIROS, M. Z.; FREIRE, G. M.; AROUCHA, E. M. M.; GRANGEIRO, L. C.; LOPES, W. A. R.; DOMBROSKI, J. L. D. Interferência das plantas daninhas sobre a produtividade e qualidade de cenoura. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 247-254, 2010.
- SOUZA, I. R. P.; MELLO, N. O.; CARVALHO, S. G. M.; RODRIGUES, J. A. S.; SABATO, E. O.; GONÇALVES, I. A. M.; BARROS, B. A. Potyvirus causando mosaico em plantas daninhas nas culturas do milho e do sorgo. In: **CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016**, Bento Gonçalves, RS. Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo / Embrapa Milho e Sorgo, p. 836-839, 2016.

- TABATABAEI, S.; EHSANZADEH, P.; ETESAMI, H.; ALIKHANI, H. A.; GLICK, B. R. Indole-3-acetic acid (IAA) producing *Pseudomonas* isolates inhibit seed germination and α -amylase activity in durum wheat (*Triticum turgidum* L.). **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 1, p. e0802, 2016.
- VEJAN, P.; ABDULLAH, R.; KHADIRAN, T.; ISMAIL, S.; BOYCE, A. N. Role of plant growth promoting rhizobacteria in agricultural sustainability - A review. **Molecules**, v. 21, n. 5, p. 573, 2016.
- VELIZ, E. A.; MARTÍNEZ-HIDALGO, P.; HIRSCH, A. M. Chitinase-producing bacteria and their role in biocontrol. **AIMS Microbiology**, v. 3, n. 3, p. 689-705, 2017.

8. APÊNDICE

Anexo 1 - Altura, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, massa seca total e relação parte aérea/raízes de plantas de *Bidens pilosa* L. (Picão-preto) inoculadas com diferentes isolados bacterianos rizosféricos e cultivadas por 60 dias em casa-de-vegetação.

Isolados	Altura			Massa seca (g)								Relação Parte aérea/Raízes			
				Parte aérea				Raízes				Total			
	-- cm --		-- % --	-- g --		-- % --	-- g --		-- % --	-- g --		-- % --			-- % --
87	18,05	ab	-5,79	1,57	abc	-15,59	0,71	bcd	1,76	2,28	b	-10,83	0,45	cd	20,09
125	13,66	b	-28,71	0,97	d	-48,01	0,59	d	-15,36	1,56	c	-39,06	0,62	a	63,24
204	15,18	ab	-20,79	1,49	c	-19,78	0,83	abc	18,45	2,32	ab	-9,31	0,56	ab	47,28
211	16,50	ab	-13,88	1,53	bc	-17,52	0,71	ab	1,76	2,42	ab	-5,38	0,58	a	53,74
212	19,58	ab	2,22	1,83	ab	-1,31	0,77	abc	9,99	2,60	ab	1,78	0,42	cd	12,19
405	19,75	a	3,09	1,84	ab	-1,00	0,89	a	26,96	2,73	a	6,66	0,49	bc	28,72
Controle	19,16	ab		1,86	a		0,70	cd		2,56	ab		0,38	d	
CV (%)	11,47			8,69			9,96			8,04			7,79		

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 2 - Altura, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, massa seca total e relação parte aérea/raízes de plantas de *Amaranthus spinosus* L. (Caruru-de-espinho) inoculadas com diferentes isolados bacterianos rizosféricos e cultivadas por 53 dias em casa-de-vegetação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Isolados	Altura			Massa seca (g)								Relação Parte aérea/Raízes			
				Parte aérea				Raízes							Total
	-- cm --		-- % --	-- g --		-- % --	-- g --		-- % --	-- g --		-- % --			%
87	22,12	a	78,12	4,19	a	356,26	2,48	a	445,81	6,67	a	385,87	0,60	a	27,29
125	19,91	ab	60,34	3,08	b	234,95	1,61	b	253,74	4,68	b	241,16	0,51	a	8,89
204	13,57	ab	9,30	1,57	de	70,87	0,72	cd	57,93	2,29	cde	66,59	0,46	a	-2,75
211	12,03	b	-3,15	1,12	cde	22,33	0,62	cd	36,78	1,75	de	27,11	0,56	a	18,97
212	15,68	ab	26,31	1,84	cd	100,43	1,05	bcd	131,06	2,89	cd	110,55	0,57	a	21,51
405	17,22	ab	38,66	1,88	c	104,50	1,20	cd	163,73	3,08	c	124,08	0,64	a	36,35
Controle	12,42	b		0,92	e		0,45	d		1,37	e		0,47	a	
CV (%)	24,06			15,29			23,26			16,51			15,47		

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 3 - Altura, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, massa seca total e relação parte aérea/raízes de *Ipomoea cairica* (Corda-de-viola) inoculadas com diferentes isolados bacterianos rizosféricos e cultivadas por 53 dias em casa-de-vegetação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Isolados	Altura			Massa seca (g)									Relação Parte aérea/Raízes		
				Parte aérea			Raízes			Total					
	-- cm --		-- % --	-- g --		-- % --	-- g --		-- % --	-- g --		-- % --			%
87	47,54	AB	-14,60	1,59	C	-40,84	0,75	C	-26,17	2,34	C	-36,84	0,48	AB	27,09
125	41,18	B	-26,02	1,51	C	-44,04	0,79	C	-22,00	2,29	C	-38,03	0,52	AB	38,78
204	50,88	AB	-8,59	1,63	C	-39,51	1,00	BC	-1,30	2,63	BC	-29,09	0,61	AB	62,45
211	77,86	A	39,87	3,72	A	38,06	1,60	A	58,49	5,32	A	43,63	0,43	AB	14,30
212	56,56	AB	1,61	2,04	BC	-24,13	1,11	BC	10,06	3,15	BC	-14,81	0,58	AB	53,06
405	52,88	AB	-5,00	1,86	BC	-30,92	1,24	AB	22,58	3,10	BC	-16,34	0,73	A	92,87
Controle	55,67	AB		2,69	AB		1,01	BC		3,70	B		0,38	B	
CV (%)	24,59			21,15			16,85			17,04			26,39		

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 4 - Altura, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, massa seca total e relação parte aérea/raízes de plantas de *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A.Rich.) R.D.Webster (Capim-braquiária) inoculadas com diferentes isolados bacterianos rizosféricos e cultivadas por 53 dias em casa-de-vegetação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Isolados	Altura			Massa seca (g)								Relação Parte aérea/Raízes			
				Parte aérea				Raízes		Total					
	-- cm --		-- % --	-- g --		-- % --	-- g --		-- % --	-- g --		-- % --			%
87	60,00	AB	-6,67	4,94	C	-38,14	2,85	D	-40,10	7,79	B	-38,87	0,58	C	-3,36
125	59,17	AB	-7,97	5,03	C	-37,05	3,36	CD	-29,52	8,38	B	-34,24	0,67	ABC	11,76
204	57,92	AB	-9,92	7,13	AB	-10,69	4,92	AB	3,27	12,05	A	-5,47	0,69	ABC	15,52
211	57,97	AB	-9,84	4,66	C	-41,67	2,85	CD	-40,10	8,03	B	-37,04	0,73	ABC	22,28
212	45,46	B	-29,29	6,44	B	-19,35	5,02	A	5,45	11,46	A	-10,09	0,78	AB	30,44
405	60,92	A	-5,25	5,03	C	-37,05	4,01	BC	-15,89	9,03	B	-29,14	0,80	A	33,20
Controle	64,29	A		7,99	A		4,76	AB		12,75	A		0,60	BC	
CV (%)	11,47			8,41			10,21			7,72			11,79		

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Anexo 5 - Altura, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, massa seca total e relação parte aérea/raízes de plantas de *Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf (Falso-massambará) inoculadas com diferentes isolados bacterianos rizosféricos e cultivadas por 53 dias em casa-de-vegetação.

Isolados	Altura			Massa seca (g)								Relação Parte aérea/Raízes			
				Parte aérea				Raízes							Total
	-- cm --		-- % --	-- g --		-- % --	-- g --		-- % --	-- g --		-- % --			%
87	51,67	A	31,38	2,18	A	59,66	1,28	AB	-2,96	3,4639	A	28,91	0,64	A	-33,70
125	48,45	A	23,20	1,64	AB	19,79	1,53	AB	15,97	3,1684	AB	17,92	0,95	A	-1,93
204	48,83	A	24,18	1,50	AB	9,55	1,21	AB	-8,08	2,7109	AB	0,89	0,85	A	-12,41
211	45,54	A	15,81	0,98	B	-28,28	1,28	B	-2,96	2,0369	B	-24,19	1,14	A	18,20
212	49,71	A	26,40	1,68	AB	23,08	1,84	A	39,29	3,521	A	31,04	1,11	A	14,64
405	43,78	A	11,32	1,17	B	-14,21	1,11	B	-15,57	2,2873	B	-14,88	0,95	A	-1,66
Controle	39,33	A		1,37	AB		1,32	AB		2,687	AB		0,97	A	
CV (%)	21,69			24,74			21,61			18,02			31,35		

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.