

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM AGRONOMIA

TRAÇOS FUNCIONAIS DE RIZOBACTÉRIAS
ISOLADAS A PARTIR DE PLANTAS-ISCAS DE
Glycine max

NATASHA TALINE DOS SANTOS TROMBELA

Rio Verde, GO
2022

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE**

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**TRAÇOS FUNCIONAIS DE RIZOBACTÉRIAS
ISOLADAS A PARTIR DE PLANTAS-ISCAS DE**

Glycine max

NATASHA TALINE DOS SANTOS TROMBELA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciana Cristina Vitorino

Rio Verde-GO
Abril, 2022

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

T849t Trombela, Natasha Taline dos Santos
TRAÇOS FUNCIONAIS DE RIZOBACTÉRIAS ISOLADAS A
PARTIR DE PLANTAS-ISCAS DE Glycine max / Natasha
Taline dos Santos Trombela; orientadora Luciana
Cristina Vitorino. -- Rio Verde, 2022.
22 p.

TCC (Graduação em Agronomia) -- Instituto Federal
Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. biotecnologia. 2. AIA. 3. antagonismo. 4.
silício. I. Vitorino, Luciana Cristina , orient.
II. Título.



**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR
PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO
INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Natasha Taline dos Santos Trombela

Matrícula: 2017102200240197

Título do Trabalho:

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:

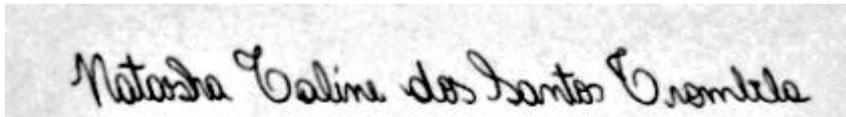
- | | | |
|--|------------------------------|---|
| O documento está sujeito a registro de patente? | <input type="checkbox"/> Sim | <input checked="" type="checkbox"/> Não |
| O documento pode vir a ser publicado como livro? | <input type="checkbox"/> Sim | <input checked="" type="checkbox"/> Não |

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. O documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. Obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. Cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 01/04/2022



Natália Galina dos Santos Crescibela

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

NATASHA TALINE DOS SANTOS TROMBELA

TRAÇOS FUNCIONAIS DE

RIZOBACTÉRIAS ISOLADAS A PARTIR DE

PLANTAS-ISCAS DE *Glycine max.*

Ata nº 24/2022 - GGRAD-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) onze dia(s) do mês de abril de 2022, às 08 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Luciana Cristina Vitorino (orientador), Denise Almeida Fonseca Fiuza (membro) e Cintia Faria da Silva (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “ Traços funcionais de rizobactérias isoladas a partir de plantas-iscas de *Glycine max*” da estudante Natasha Taline Trombela , Matrícula nº 2017102200240197 do curso de Agronomia do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao(a) estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do(a) candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do(a) estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me manter de pé até aqui. A minha família, em especial aos meus pais, Edson Trombela e Josefa Josiana dos Santos por sempre me incentivarem a estudar e lutar por minha independência.

A minha orientadora professora Dr^a. Luciana Vitorino e a Dr^a. Cíntia Faria da Silva que, com muito empenho e paciência me auxiliaram na execução e escrita deste trabalho, assim como em outros muitos. Ao professor Dr. Edson Luiz Souchie por me apresentar ao incrível mundo da microbiologia.

A Dr^a. Denise Almeida Fonseca Fiuza pelo apoio nos projetos de iniciação científica que deram origem a este trabalho, e também pela paciência, pelo cuidado e pelos bons conselhos na vida profissional e pessoal.

A todos os colegas do laboratório de microbiologia agrícola e aos amigos que fiz durante todo o curso que ficarão guardados para sempre no meu coração, obrigada pelo apoio nas inúmeras avaliações propostas pelas disciplinas e pela vida.

Também deixo meus agradecimentos ao Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, pela estrutura, pela concessão de bolsas e por contratar professores e funcionários dispostos a fornecer uma educação de qualidade.

RESUMO

TROMBELA, Natasha Taline dos Santos. Traços funcionais de rizobactérias isoladas a partir de plantas-iscas de *Glycine max*. 22p. Monografia (Curso de Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2022.

Os micro-organismos presentes no solo são de suma importância na agricultura, ligados diretamente ao incremento de produtividade agrícola. Já é bem conhecido a série de benefícios que os micro-organismos do solo representam para a agricultura moderna. O objetivo deste trabalho foi avaliar 10 isolados bacterianos pertencentes ao estoque de micro-organismos do Laboratório de Microbiologia Agrícola do IF Goiano- *Campus* Rio Verde, isolados da rizosfera de plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill) quanto a capacidade *in vitro* de solubilizar silício, produzir AIA (Ácido indol-3-acético) e de exercer atividade antagonista sobre o fitopatógeno *Fusarium* spp. As cepas BRC09, SAC33, SAC35, BRC11, SBF03 e BRF28 foram capazes de solubilizar silício. Quanto ao teste de produção de AIA, oito dos dez os isolados testados foram capazes de sintetizar este fitormônio, e todos exerceram antagonismo frente ao *Fusarium* spp. Conclui-se que as cepas BRC07 e SAF11 têm potencial para se tornarem promotores de crescimento e agentes de biocontrole comerciais, no entanto, ainda deve-se realizar testes em casa de vegetação e em campo para comprovação de sua eficácia.

Palavras – chaves: AIA; Antibiose; Silício; Biotecnologia.

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

AIA- cido indol-3-acético

Si- Silício

SUMÁRIO

1.Introdução.....	11
2. Revisão de Literatura.....	12
2.1. O Ácido Indol-3- acético (AIA)	12
2.2. A Utilização do Silício na agricultura	13
2.3. Controle Biológico e o <i>Fusarium</i> spp.	13
3. Material e Métodos	14
4. Resultados e Discussões.....	16
4.3. Produção de AIA	16
4.1. Solubilização de Silício	16
4.2. Teste de antagonismo frente ao <i>Fusarium</i> spp. <i>in vitro</i>	18
5. Conclusão	19
6. Referências Bibliográficas	19

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, com a maior parte da demanda atendida através de importações (Caligaris et al., 2020), por isso em 2021, o país foi afetado pela crise dos Fertilizantes, que também comprometeu a importação de alguns pesticidas. Tal crise ocorreu principalmente devido a interrupção na produção desses insumos em decorrência da pandemia do Covid-19 (MAPA, 2021). Nesse sentido, são necessários meios alternativos de disponibilizar nutrientes para as plantas e garantir que pragas e doenças não comprometam a produção do alimento brasileiro nos próximos anos.

Os micro-organismos presentes no solo são de suma importância na agricultura, ligados diretamente ao incremento de produtividade agrícola. Eles atuam em processos na decomposição de matéria orgânica, a produção de húmus, a ciclagem de nutrientes, a produção de compostos envolvidos na agregação do solo e decomposição de xenobióticos (Moreira; Siqueira, 2006).

Muitos desses micro-organismos presentes no solo possuem estreita relação com as plantas, como é o caso dos rizosféricos. Essas interações são mediadas pelos exsudatos expelidos pelas raízes, que proporcionam um ambiente favorável para a multiplicação de certas espécies de micro-organismos e proporcionam alguns benefícios às plantas (Bezerra, 2021).

Dentre os muitos efeitos da associação com as plantas, os micro-organismos se destacam por atuarem no controle biológico de pragas e fitopatógenos e principalmente por promover o crescimento das plantas, através da fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfato e/ou zinco, mobilização de potássio, acumulação de ferro e, embora haja poucos relatos, também solubilizam silicato. Além de disponibilizar nutrientes às plantas, muitos micro-organismos produzem fitormônios, como as auxinas por exemplo (Shastri; Kumar, 2019; Ribeiro, 2019; Rodrigues et al., 2018).

Embora o silício (Si) não seja considerado um nutriente essencial às plantas, vários estudos relacionam sua aplicação no solo com ganhos reais de produtividade de diversas culturas, principalmente as gramíneas, consideradas acumuladoras desse elemento (Castro, 2009).

O Ácido indol-3-acético é o principal representante das auxinas, um hormônio vegetal responsável pelo alongamento celular, e por estimular a síntese celular, resultando na expansão de raízes laterais e pelos radiculares, aumentando absorção de nutrientes (Taiz; Zeiger, 2004).

O controle biológico também tem sido uma das aplicações desta microbiota. Alguns micro-organismos são produtores de substâncias secundárias, que podem auxiliar no controle de fitopatógenos (Demartelaere et al., 2021), inclusive de fungos do gênero *Fusarium spp.*, que são um dos principais patógenos de solo do sistema soja-milho (Henning et al 2014).

Ainda há muito o que conhecer sobre a diversidade funcional desses micro-organismos (Locey; Lennon, 2016). Portanto, são necessárias pesquisas relacionadas a esse tema para sua utilização na disponibilização de nutrientes e proteção de plantas, e assim oferecer estratégias no manejo de sistemas agrícolas mais sustentáveis, viáveis e de logística simplificada.

Dessa forma, objetivou-se através deste trabalho avaliar a capacidade de 10 isolados bacterianos da rizosfera de plantas de soja (*Glycine max* L. Merrill.) de solubilizar Silício, produzir AIA (Ácido indol-3-acético) e de exercer atividade antagonista sobre o fitopatógeno *Fusarium spp.*

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Ácido Indol-3-Acético (AIA)

O primeiro hormônio vegetal descoberto foi a auxina, no final do século 19, mas apenas em meados de 1930 o AIA foi identificado. (Taiz; Zeiger, 2006). Mais tarde, várias outras auxinas foram descobertas, mas o AIA é o mais abundante e o considerado de maior relevância pelos fisiologistas vegetais (Cassel et al., 2021).

Processos importantes são controlados por este hormônio vegetal, os principais são: alongamento do caule, dominância apical, formação da raiz, desenvolvimento de frutos e crescimento orientado ou tropismo. Nenhuma planta é capaz de se desenvolver com deficiência de auxina (Taiz et al., 2017).

Além das plantas, há uma quantidade considerável de micro-organismos que são capazes de sintetizar AIA (Moreira; Siqueira, 2006). A produção desse fitormônio por micro-organismos associados a plantas, é um dos principais fatores a ser considerado quando se busca cepas com potencial comercial para a promoção de crescimento de plantas (Lana et al., 2017).

2.2. A utilização do silício na agricultura

Embora o Si não seja considerado um nutriente essencial às plantas, vários estudos relacionam sua aplicação no solo com ganhos reais de produtividade de diversas culturas, principalmente as gramíneas, consideradas acumuladoras desse elemento (Castro, 2009).

O Si é depositado na forma de sílica gel, na parede celular da epiderme das folhas, colmos e casca, resultando na formação de células epidérmicas mais grossas, o que aumenta o fortalecimento e a rigidez da parede celular, e por isso, confere a planta maior resistência em situações de estresses bióticos (ataque de fungos e insetos) e abióticos, tais como geadas, déficit hídrico e metais pesados (Menegale et al., 2015; Camargo, 2016).

A concentração de Si no solo é de até 30%, por isso é considerado o segundo elemento mais abundante, encontrado principalmente em minerais e rochas (Adrees et al., 2015; Bakhat et al., 2018). No entanto, os solos tropicais possuem um alto grau de intemperismo, onde os minerais primários facilmente intemperizáveis que contêm Si são quase inexistentes (Pereira et al. 2003). Quando presente, esse elemento é encontrado principalmente na forma de opala e quartzo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), minerais que não podem ser assimilados pelas plantas (Camargo, 2016).

A utilização de micro-organismos como biofertilizantes na agricultura têm se destacado nos últimos anos, principalmente devido seu potencial de fixar nitrogênio e solubilizar fosfato (Mazid;Khan, 2014). Nesse sentido, alguns trabalhos também têm mostrado resultados promissores quanto a solubilização de silicato por bactérias rizosféricas (Adhikari et al., 2019; Lee et al., 2019; Rodrigues et al., 2018).

2.3. Controle biológico o *Fusarium spp.*

As doenças causadas pelo gênero *Fusarium spp.* apresentam difícil controle devido à alta variabilidade genética, impondo limitações ao emprego da resistência genética, pois não há cultivares com amplo espectro de resistência a raças distintas do patógeno (Alloosh et al., 2019). Por isso, é necessária a combinação de várias medidas dentro do manejo a fim de fornecer resultados efetivos (Milanesi et al., 2013).

Os sintomas mais comuns de fusariose é coloração castanho escura no caule da planta, nos tecidos vasculares e formação de intumescência entre a raiz e o caule. A capacidade fotossintética da planta e a translocação de nutrientes também podem ser comprometidas se a infecção atingir os vasos condutores (Taiz et al., 2017).

Vários estudos têm apresentado fungos e bactérias como promissores agentes de controle biológico do *Fusarium spp.* (Demartelaere et al., 2021). Os principais mecanismos de ação no controle de patógenos de plantas utilizados pelos micro-organismos são a predação, competição, parasitismo, indução de resistência e antibiose, produção de fitoalexinas, exopolissacarídeos e antioxidantes (Bhat et al., 2019; Rezende et al., 2021).

A utilização de agentes de controle biológico tem aumentado nos últimos anos como alternativa a produtos químicos (Demartelaere et al., 2021). Tendo em vista a importância das doenças causadas pelo gênero *Fusarium spp.* em culturas comerciais e os benefícios da utilização de micro-organismos no controle de doenças podem trazer, crescem cada vez a necessidade de estudos voltados para o potencial biotecnológico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Produção de AIA

Para testar a capacidade de produzir Acido Indol-3-Acético, os isolados bacterianos foram inoculados em 5 mL de meio caldo nutriente - CN (3g extrato de carne, 5g peptona L⁻¹), e colocados sob agitação por 24 horas para que as células se multiplicassem. As amostras tiveram sua densidade óptica aferida a 600 nm e ajustada por meio de diluição em solução salina a 0,2.

Para o teste propriamente dito, foram colocados 1 mL dessas cepas já diluídas em um frasco contendo meio CN suplementado com 50 µL de triptofano 5mM, precursor da produção de AIA para a maioria dos micro-organismos. As amostras foram levadas a incubadora a 30°C sob agitação constante a 90 rpm por 72 horas em total ausência de luz.

Em seguida, 2 mL do sobrenadante de cada isolado foi transferido para microtubos, centrifugados (12.000 rpm), por 5 min, a 4°C. Após, 150µL do sobrenadante foi coletado e colocados na microplaca que recebeu a adição de 150 µL do Reagente de Salkowski (1,875 g de FeCl₃, 100 mL H₂O e 150 mL H₂SO₄).

Aguardou-se 20 minutos para avaliação da reação, na ausência de luz e em temperatura ambiente. A mudança de cor do meio para rosa avermelhada indicou a produção de AIA no meio pelas cepas bacterianas. A leitura das amostras foi realizada em espectrofotômetro a 530nm de absorbância.

Como controle negativo, utilizou-se apenas o meio de cultura CN com L⁻ triptofano (5mM) acrescido do Reagente de Salkowski. As leituras foram normalizadas

por meio de curva padrão, utilizando a equação da curva de calibração proposta por Pereira et al. (2012), nas concentrações: 0, 5, 15, 25, 50, 100; 200; 400 $\mu\text{L. mL}^{-1}$. O teste foi realizado em triplicata.

3.2.Solubilização de silício

Para avaliar a capacidade de solubilização de silicato *in vitro*, utilizou-se a metodologia descrita por Rodrigues et al., (2018). Dessa forma, com auxílio de um pequeno círculo de papel filtro, os isolados foram inoculados em uma placa de Petri contendo meio Alexandrovsk modificado, composto de Glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), Sulfato de magnésio (MgSO_4), Carbonato de cálcio (CaCO_3), Cloreto férrico (FeCl_3), Fosfato de cálcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), ágar e 3g de silicato de magnésio ($\text{Mg}_2\text{O}_8\text{Si}_3$). Eles foram armazenados em estufa bacteriológica a 28°C e após sete dias, foram avaliados quanto a presença ou ausência de halo translúcido ao redor da região onde o papel filtro contendo a cepa foi inoculado.

3.3.Análise da capacidade antagonista *in vitro*

Para analisar a capacidade antagonista dessas cepas em relação ao *Fusarium* spp., foi utilizada a técnica de Cultura Pareada. Foi realizada a inoculação de discos de 6 mm de diâmetro de colônias crescidas à 28°C , durante 7 dias, de cada cepa bacteriana e do fitopatógeno, em polos opostos da placa de Petri (4 cm de distância) contendo meio de cultura BDA (Batata-Dextrose-Ágar). Para o controle, foi inoculado somente o fitopatógeno em um polo da placa. As culturas pareadas foram incubadas a 28°C durante 7 dias. O teste foi realizado em triplicata.

3.4. Análise estatística

Os dados de capacidade de solubilização de fosfato de silício, síntese de AIA e antibiose foram submetidos a análise de variância e as médias relativas foram comparadas pelo teste Scott-Knott (5%). As análises foram realizadas por meio do software SISVAR (Ferreira, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção de AIA

Dos isolados testados, oito apresentaram capacidade de sintetizar AIA. A quantidade deste hormônio produzida pelas cepas variou entre 11,4 e 29,7 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de AIA. O isolado BRC7 teve maior produção de AIA (Figura 2), diferindo-se dos demais analisados.

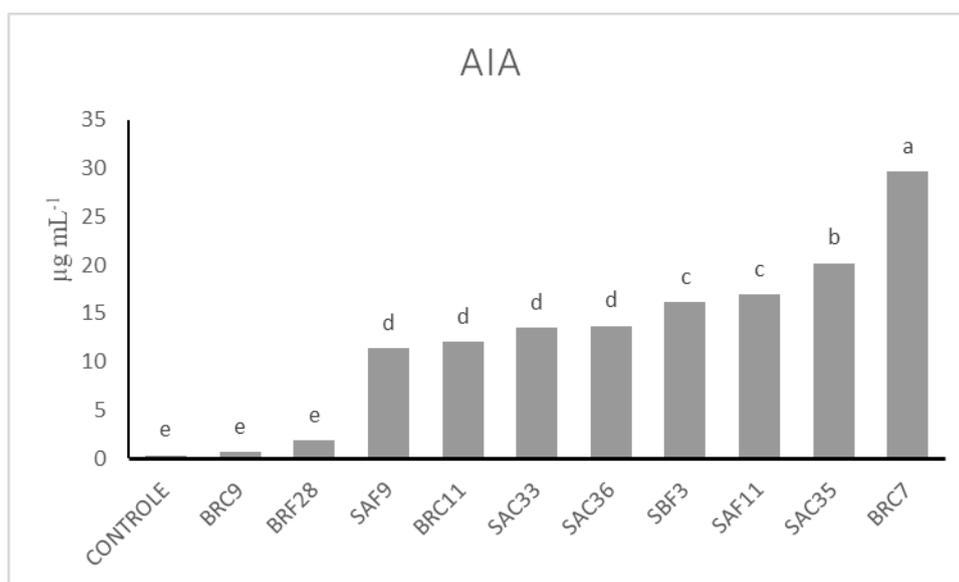


Figura 2. Concentração de AIA produzido por bactérias solubilizadoras de fosfatos isoladas da rizosfera de plantas de soja. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott (5%).

Já é conhecido que muitas espécies de micro-organismos atuam como bioestimulantes nas plantas, devido sua capacidade sintetizar AIA e outros fitormônios. Entre as muitas bactérias capazes de sintetizar AIA, se destacam as dos gêneros *Azospirillum*, *Pseudomonas* sp. e *Bacillus*. (Khoshru et al., 2020; Lopes et al., 2021).

Os genes responsáveis pela biossíntese de AIA podem estar localizados no cromossomo ou plasmídeo. Existem três rotas principais para a produção de AIA por micro-organismos: a via indole-3-acetamida e indole-3-piruvatol, que são vias dependentes do triptofano e uma outra independente. (Spaepen; Vanderleyden, 2011).

4.2. Solubilização de silício

Após sete dias na estufa bacteriológica a 28°C, foi observada a formação de halo quase translúcido pelas cepas BRC09, SAC33, SAC35, BRC11, SBF03 e BRF28, parâmetro utilizado por Rodrigues et al., (2018) para verificar se houve solubilização de silício pelos micro-organismos testados.

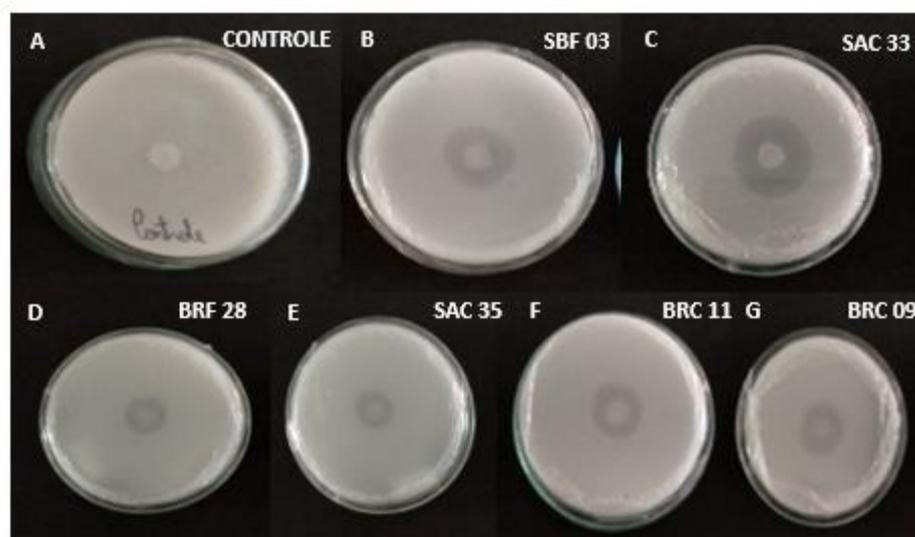


Figura 1: Os isolados bacterianos SBF03 (B), SAC33 (C), BRF28 (D), SAC35 (E), BRC11(F), e BRC09 (G) apresentaram formação de halo em meio suplementado com silício insolúvel.

Kang et al. (2017) isolaram cinco bactérias solubilizadoras de silicato da rizosfera de arroz inoculadas em meio TSA+ Silício ao constatar a formação de uma zona translúcida. Eles também conduziram ensaio em casa de vegetação para avaliar o desenvolvimento de plantas de arroz, considerada hiperacumuladora de silício por 2 semanas e concluíram que o isolado bacteriano CS4-2 promoveu significativamente o crescimento de plantas quando aplicado em combinação com silicato insolúvel.

Outros trabalhos como o de Lee et al. (2019) e Adhikari et al. (2019) apresentaram resultados promissores quanto a solubilização de Si insolúvel por bactérias e concluíram através de ensaios em casa de vegetação, que as bactérias estudadas tem potencial de promover o crescimento e melhorar a sanidade do arroz e de outras plantas acumuladoras deste elemento.

Alguns autores atribuem a biosolubilização do silício aos ácidos orgânicos produzidos pelos micro-organismos (Lee et al., 2019). Acredita-se as bactérias liberam esses ácidos e formam ligações que ajudam na dissolução do silicato por meio da

formação de complexos de superfície de estrutura desestabilizadora e complexação de metal (Bennett et al., 2001; Rogers et al., 2004). No entanto, ainda é necessário estudos mais específicos afim de compreender em detalhes o processo de solubilização de silicatos.

4.3. Análise da capacidade antagonista *in vitro*

Todos os isolados avaliados apresentaram taxas de inibição relativa ao *Fusarium* spp., sendo que a cepa SAF11 se destacou em relação as demais por apresentar taxa de 44,20 % de inibição.

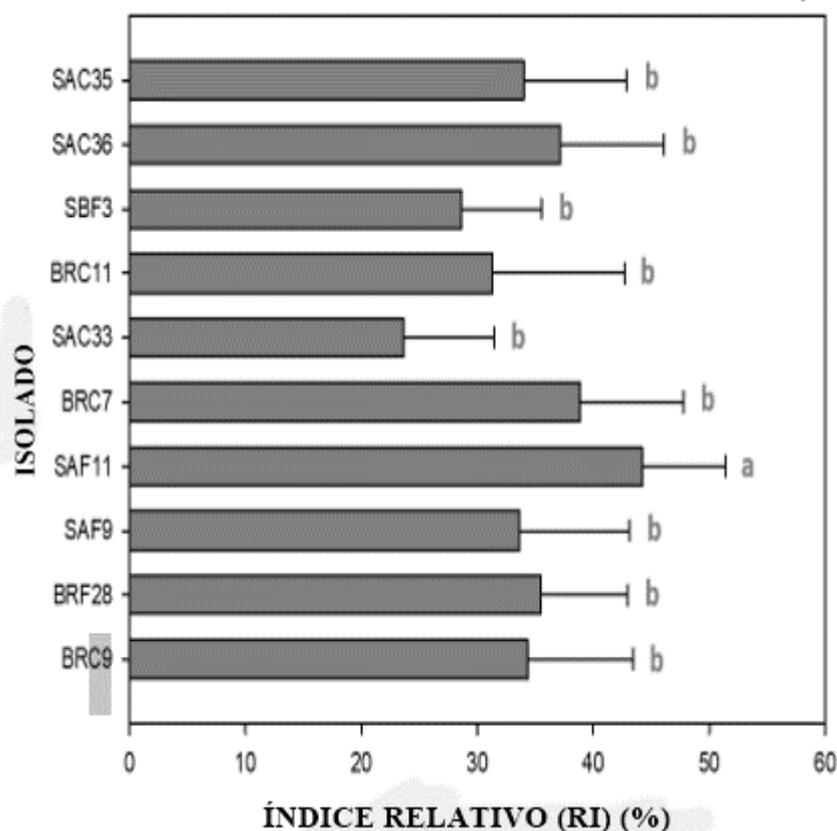


Figura 03. Taxa de inibição relativa (%) do crescimento micelial de *Fusarium* spp. por bactérias isoladas da rizosfera de *Glycine max* L. Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente em $p < 0.05$ (Teste Scott-Knott).

Bactérias têm se mostrado promissores agentes de biocontrole de *Fusarium* spp., principalmente as do gênero *Bacillus* (Areal, 2019; Andrade et al., 2021). Outras bactérias

como as dos gêneros *Burkholderia*, *Brevibacillus*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Escherichia* e *Paenibacillus*, também tem sido relatados na literatura como controladores deste fitopatógeno (Bourscheidt, 2021).

Os microrganismos presentes no solo podem apresentar a capacidade de competir com o patógeno, bem como, ter o crescimento mais efetivo que o patógeno (Patin et al., 2016). Alguns são capazes de produzir compostos orgânicos voláteis, nos quais são comumente relatados como inibidores do crescimento micelial de diversos fungos patogênicos (Areal, 2019).

5 CONCLUSÕES

Das 10 cepas bacterianas estudadas neste trabalho, seis apresentaram resultado positivo para solubilização de silício, sendo elas: BRC09, SAC33, SAC35, BRC11, SBF03 e BRF28.

Ao que se diz respeito a produção de AIA, oito isolados foram capazes de sintetizar este hormônio sendo que as cepas que mais se produziram foram a BRC7, SAC35 e SAF11. Quanto à capacidade antagonista frente ao fitopatógeno *Fusarium* spp., todas as cepas apresentaram taxa de inibição, com destaque para a SAF11, BRC7 e SAC36.

Desta forma, conclui-se que os isolados BRC7 e SAF11 têm potencial para se tornarem promotores de crescimento e agentes de biocontrole comerciais, no entanto, ainda deve-se realizar testes em casa de vegetação e em campo para comprovação de eficácia.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIKARI, ARJUN; LEE, KO-EUN; KHAN, MA; KANG, SANG-MO; ADHIKARI, B; IMRAN, M.; JAN, R; KIM, KM.; LEE, IN JUNG. Effect of Silicate and Phosphate Solubilizing Rhizobacterium *Enterobacter ludwigii* GAK2 on *Oryza sativa* L. under Cadmium Stress. **J Microbiol Biotechnol.** p. 118-126, 2019.

ADREES, MUHAMMAD; ALI, SHAFQAT; RIZWAN, MUHAMMAD; ZIA-UR-REHMAN, MUHAMMAD; IBRAHIM, MUHAMMAD; ABBAS, FARHAT; FARID, MUJAHID; QAYYUM, MUHAMMAD FAROOQ; IRSHAD, MUHAMMAD KASHIF. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 119, p. 186–197, 2015.

ALLOOSH, M.; HAMWIEH, A.; AHMED, S.; ALKAI, B. Genetic diversity of *Fusarium* spp. oxysporum f. sp. ciceris isolates affecting chickpea in Syria. **Crop Protection**, v. 124, n. June, p. 104863, 2019.

AREAL, M. V. R. Compostos orgânicos voláteis (COVs) emitidos por *Bacillus* sp. no controle biológico de fitopatógenos. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Bacharelado)- **Universidade Federal do Ceará**, Fortaleza, 2019.

BAKHAT, Hafiz Faiq; BIBI, Najma; ZIA, Zahida; ABBAS, Sunaina; HAMMAD, Hafiz MOHKUM; FAHAD, SHAH; ASHARAF, MUHAMMAD RIZWAH; SHAH, GHULAM MUSTAFA; RABBANI, FAIZ; SAEED, SHAFQAT. Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review. **Crop Protection**, [S. l.], v. 104, n. p. 21–34, 2018.

BENNETT, P.C.; ROGERS, J.R.; CHOI, W.J.; HIEBERT, F.K. Silicates, silicate weathering, and microbial ecology. **Geomicrobiology Journal**. Ed. 18, p. 3–19, 2001.

BEZERRA, G. A.. **Isolamento e seleção de microrganismos de cana-de-açúcar com potencial de promoção de crescimento vegetal**. Universidade Federal de São Carlos. 68p., 2021.

BHAT, M. A., RASOOL, R. ;RAMZAN, S. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable and eco-friendly agriculture. **Acta Scientific Agriculture**, 3, 23–25, 2019.

BOURSCHEIDT, M.L.B. , CARMO, K.B. DO ., PEDREIRA, B.C. , BERBER, G. DE C.M. E FERREIRA, A. Biodiversidade de bactérias antagônicas a fungos associados à síndrome da morte do capim-marandu (*Brachiaria brizantha*). **Nativa**. 9, 5, 454-459, 2021.

CALIGARIS, B.; NETA, E. M. S.; ALMEIDA, J. P. DE; VOLOTÃO, R. DE A.; MIRANDA, L. B. DE H.. Produção Nacional de Fertilizantes. **Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos**, 2020.

CAMARGO, M. S. Efeito do silício na tolerância das plantas aos estresses bióticos e abióticos. Piracicaba: **International Plant Nutrition Institute**, 2016. (Informações Agronômicas, 155).

CASTRO, G.S.A. Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário. **UNESP Botucatu**, 2009. Dissertação Mestrado, p.160.

DEMARTELAERE, A. C. F.; PRESTON H. A. F.; PRESTON W.; MATA, T. C. DA; COSTA, W. P. L. B. DA; MEDEIROS; D. C. DE; NICOLINI, C.; SOUZA, J. B. DE; SILVA, T. P. DE P.; PAIVA L. L. DE ; MEDEIROS, P. L. DE ; MONTE, F. D. M. DO; CAMPOS, F. M. DE A.; SILVA, C. A. O.; SILVA, E. DOS S.; CANDIDO, D.. Controle biológico da murcha de *Fusarium* spp. no feijão caupi. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.1, p.4798-4818, 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p.1039-1042, 2011.

HENNING, A. A.; ALMEIDA, A. M. R.; GODOY, C. V.; SEIXAS, C. D. S.; YORINORI, J. T.; COSTAMILAN, L. M.; FERREIRA, L. P.; MEYER, M. C.; SOARES, R. M.; DIAS, W. P. Manual de identificação de doenças de soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2014.

KANG, SANG-MO; WAQAS, M.; SHAHZAD, R.; YOU, Y.; ASAF, S.; KHAN, M.; LEE, K.; JOO, G.; KIM, S.; LEE, I. Isolation and characterization of a novel silicate-solubilizing bacterial strain *Burkholderia eburnea* CS4-2 that promotes growth of japonica rice (*Oryza sativa* L. cv. Dongjin). **Soil Science and Plant Nutrition**. p. 1-9, 2017.

KHOSHRU, B., MITRA, D., KHOSHMANZAR, E., MYO, E. M., UNIYAL, N., MAHAKUR, B.. 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**, p. 43, 2017.

LANA, U. G. de P.; RIBEIRO, V. P.; GOMES, E. A.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. Seleção em Larga Escala de Bactérias Produtoras do Hormônio Ácido Indolacético (AIA), Auxina Associada à Promoção de Crescimento em Plantas. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2017.

LEE, K.-E.; ADHIKARI, A.; KANG, S.-M.; YOU, Y.-H.; JOO, G.-J.; KIM, J.-H.; KIM, S.-J.; LEE, I.-J. Isolation and Characterization of the High Silicate and Phosphate Solubilizing Novel Strain *Enterobacter ludwigii* GAK2 that Promotes Growth in Rice Plants. **Agronomy** ,p. 144, **2019**.

LEE, KO-EUN; ADHIKARI, ARJUN; KANG, SANG-MO; YOU, YOUNG-HYUN; JOO, GIL-JAE; KIM, JIN-HO; KIM, SANG-JUN; LEE, IN-JUNG. Isolation and Characterization of the High Silicate and Phosphate Solubilizing Novel Strain *Enterobacter ludwigii* GAK2 that Promotes Growth in Rice Plants. **Agronomy**, v.9, p.144, 2019.

LOCEY, K. J.; LENNON, J. T. Scaling laws predict global microbial diversity. **PNAS**, v. 113, n. 21, p. 5970- 5975, 2016.

Lopes, M. J. S., Dias-Filho, M. B.; Gurgel, E. S. C. Successful plant growth-promoting microbes: inoculation methods and abiotic factors. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, p.1-13, 2021.

MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Mapa cria grupo para monitoramento e assessoramento sobre fertilizantes**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-cria-grupo-para-monitoramento-e-assessoramento-sobre-fertilizantes>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2022.

MAZID, M.; KHAN, T.A.. Future of Bio-fertilizers in Indian Agriculture: An Overview. **International Journal of Agricultural and Food Research**, n. 3, p. 10-23 2014.

MENEGALE, M.L.C.; CASTRO, G.S.A.; MANCUSO, M.A.C. Silício: Interação com o sistema Solo-Planta. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n. especial, p.435-454, 2015.

MILANESI, P. M.; BLUME, E.; MUNIZ, M. F. B.; REINIGER, L. R. S.; ANTONIOLLI, Z. I.; JUNGES, E.; LUPATINI, M. Detecção de *Fusarium* spp. spp. e *Trichoderma* spp. e antagonismo de *Trichoderma* sp. em soja sob plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3219 – 3234, 2013.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: **UFLA**, 625 p., 2006.

PATIN, N. V.; DUNCAN, K. R.; DORRESTEIN, P. C.; JENSEN, P. R. Competitive strategies differentiate closely related species of marine actinobacteria. **ISME Journal**, v. 10, n. 2, p. 478-490, 2016.

PEREIRA, H.S.; VITTI, G.C.; KORNDORFER, G.H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.101-108, 2003.

REZENDE, C. C. SILVA, M. A., FRASCA, L. L. M., FARIA, D. R., FILIPPI, M. C. C., LANNA, A. C.; NASCENTE, A. S.. Micro-organismos multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society and Development**, n. 10, p. 2, 2021.

RIBEIRO, I. D. A.. Caracterização de bactérias promotoras do crescimento vegetal associadas à cultura da canola (*Brassica napus* L.). Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) - **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, [S. l.], 82 p., 2019.

RODRIGUES, P. G. M. ; ALVES JUNIOR, J. M. ; ARAUJO, D. A. O. ; RODRIGUES, T. T. M. S. ; MOREIRA, L. L. Q. ; MARTINS, E. S. . Bactérias de Solo Solubilizadoras de Silicatos. In: **XV Congresso Nacional de Meio Ambiente**, 2018, Poços de Caldas. Anais Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. v. 10., 2018.

ROGERS, J.R.; BENNETT, P.C. Mineral stimulation of subsurface microorganisms: Release of limiting nutrients from silicates. **Chemical Geology**. p. 91–108, 2004.

SHASTRI, B.; KUMAR, R. Microbial secondary metabolites and plant–microbe communications in the rhizosphere. **New Future Developments In Microbial Biotechnology And Bioengineering**, p. 93-111, 2019.

SOLANO, B.R., BARRIUSO, J., GUTIÉRREZ-MAÑERO, F.J.. Physiological and molecular mechanisms of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). In: Ahmad, I.; Pichtel, J.; Hayat, S. **Plant-Bacteria Interactions - strategies and techniques to promote plant growth**. P 41-54, 2008.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN J.. Auxin and plant-microbe interactions. **Cold Spring Harbor perspectives in biology**. Vol. 3,4, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3^a ed. Porto Alegre: **Artmed**, 2004.

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