

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA  
CURSO DE BIOTECNOLOGIA

LEIDIANNE DE SOUSA ALMEIDA

**BIOPROSPECÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO  
VEGETAL ISOLADAS DO ALIMENTO LARVAL DE ABELHAS SEM FERRÃO**

Uberlândia - Minas Gerais  
2024

LEIDIANNE DE SOUSA ALMEIDA

**BIOPROSPECÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO  
VEGETAL ISOLADAS DO ALIMENTO LARVAL DE ABELHAS SEM FERRÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do curso de Biotecnologia da  
Universidade Federal de Uberlândia como parte do  
requisito à obtenção do grau de Bacharel em  
Biotecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Raquel Cristina Cavalcanti  
Dantas

Coorientadora: Dra. Amanda Carmelo da Rocha

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGIA  
CURSO DE BIOTECNOLOGIA

**Bioprospecção de bactérias promotoras de crescimento vegetal isoladas do alimento larval de abelhas sem ferrão**

Leidianne de Sousa Almeida

Aprovado pela Banca Examinadora em: 25 /11 /2024

Nota: 95

Nome e assinatura do Presidente da Banca Examinadora:  
Profa. Dra. Raquel Cristina Cavalcanti Dantas

Uberlândia, 25 de novembro de 2024

Dedico este trabalho aos meus amados pais.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha infinita gratidão aos meus pais, que me apoiaram incondicionalmente durante todo o período da faculdade. Eles enxugaram minhas lágrimas nas dificuldades, vibraram comigo em cada pequena vitória e nunca deixaram de acreditar em mim, mesmo quando eu mesma duvidava. É graças a eles que concluo mais essa etapa da minha vida. Sem a força e perseverança da Lenira e do José Antônio, eu nada seria.

Agradeço também à minha irmã Thamirys, pelo apoio, paciência e por sempre segurar minha mão, me dando força e garantindo que eu nunca desistisse.

À minha amiga cabo-verdiana Maira, que tive o privilégio de conhecer graças à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e cuja amizade levarei para a vida. Compartilhamos experiências incríveis e desafiadoras ao longo dessa jornada de graduação em Biotecnologia, que nos fizeram crescer juntas e moldaram quem somos hoje.

Agradeço ainda à minha coorientadora, Dra. Amanda Rocha, que me guiou durante a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso com paciência e dedicação. E à minha orientadora, Dra. Raquel Dantas, por ter aceitado me orientar neste percurso.

Minha gratidão se estende ao Laboratório de Análises do Núcleo de Processos Biotecnológicos (NUCBIO) da Faculdade de Engenharia Química da UFU e ao Laboratório de Genética (LabGen), em especial às mulheres pesquisadoras e cientistas que me ensinaram e inspiraram.

Concluo essa etapa com o coração cheio de gratidão e esperança. Cada desafio enfrentado e cada aprendizado adquirido me fortaleceu e me preparou para o próximo capítulo da minha vida. A todos que fizeram parte dessa trajetória, meu muito obrigada. Com fé e determinação, sigo em busca dos meus próximos sonhos.

## RESUMO

A crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis tem impulsionado a procura por alternativas aos fertilizantes químicos, dentre as quais estão os biofertilizantes à base de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs). As BPCVs podem ser usadas na agricultura para melhorar a produtividade e a sustentabilidade, e podem ser aplicadas em diferentes etapas do cultivo, como tratamento de sementes, mudas e estacas, na incorporação ao substrato de plantio, ou na pulverização na parte aérea da planta. O objetivo deste estudo foi identificar e avaliar bactérias presentes no alimento larval de abelhas sem ferrão das espécies *Melipona scutellaris* e *Melipona quadrifasciata*, com potencial para estimular o crescimento vegetal. Foram realizados testes qualitativos para avaliar a capacidade desses microrganismos de armazenarem o nitrogênio e solubilizar potássio e fosfato, utilizando 11 cepas bacterianas reativadas codificadas pela Coleção: MS09, MS55, MS11, MS29, MS19C, MQ27, MQ1B, MQ54B, MQ1A, MQ07, MQ20 e MQ47 pertencentes à Coleção de Microrganismos Isolados de Abelhas da Universidade Federal de Uberlândia (CoMISBee). Os resultados mostraram que três isolados apresentaram potencial para a fixação de nitrogênio (MQ07, MS19C e MS55), enquanto três cepas (MQ54B, MQ47 e MS11) mostraram capacidade de solubilizar potássio e sete cepas (MS55, MS29, MQ47, MS19C, MQ07, MQ1B e MQ27) mostraram eficiência na solubilização de fosfato. Essas características demonstram que as bactérias isoladas podem promover o crescimento vegetal, aumentando a disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas e reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos. É possível concluir que a aplicação de BPCVs pode ser uma estratégia viável para promover a fertilidade do solo e aumentar a produtividade agrícola de forma sustentável. Estes resultados reforçam a relevância da bioprospecção de microrganismos como ferramenta para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais ecológica, além de fornecer bases para estudos futuros a respeito da aplicação prática dessas bactérias no campo.

**Palavras chave:** Bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs), fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo, solubilização de potássio, microrganismos do solo, bioprospecção microbiana, biofertilizantes, abelhas sem ferrão.

## ABSTRACT

The growing demand for sustainable agricultural practices has driven the search for alternatives to chemical fertilizers, including biofertilizers based on plant growth-promoting bacteria (PGPB). PGPB can be used in agriculture to enhance productivity and sustainability and can be applied at various stages of cultivation, such as seed, seedling, and cutting treatment, incorporation into the planting substrate, or aerial spraying on plants. The aim of this study was to identify and evaluate bacteria present in the larval food of stingless bees of the species *Melipona scutellaris* and *Melipona quadrifasciata*, with the potential to stimulate plant growth. Qualitative tests were conducted to assess these microorganisms' ability to store nitrogen and solubilize potassium and phosphate using 11 reactivated bacterial strains coded by the collection: MS09, MS55, MS11, MS29, MS19C, MQ27, MQ1B, MQ54B, MQ1A, MQ07, MQ20, and MQ47, belonging to the Microorganism Collection Isolated from Bees at the Federal University of Uberlândia (CoMISBee). The results showed that three isolates (MQ07, MS19C, and MS55) exhibited potential for nitrogen fixation, while three strains (MQ54B, MQ47, and MS11) demonstrated the ability to solubilize potassium, and seven strains (MS55, MS29, MQ47, MS19C, MQ07, MQ1B, and MQ27) efficiently solubilized phosphate. These characteristics indicate that the isolated bacteria can promote plant growth by increasing the availability of essential nutrients to plants and reducing the need for synthetic fertilizers. It is possible to conclude that the application of PGPB can be a viable strategy to promote soil fertility and sustainably increase agricultural productivity. These findings underscore the relevance of microbial bioprospecting as a tool for developing more ecological agricultural practices, while also providing a basis for future studies on the practical application of these bacteria in the field.

**Keywords:** Plant growth-promoting bacteria (PGPB), biological nitrogen fixation, phosphate solubilization, potassium solubilization, soil microorganisms, microbial bioprospecting, biofertilizers, stingless bees.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 JUSTIFICATIVA	10
3 OBJETIVOS	10
3.1 OBJETIVO GERAL	10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
4 REFERENCIAL TEÓRICO	11
4.1 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL	11
4.2 MECANISMOS DE AÇÃO DAS BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL	12
4.2.1 Fixação Biológica de Nitrogênio (N)	12
4.2.2 Solubilização de Potássio (K)	13
4.2.3 Solubilização de Fosfato (P)	14
4.3 ABELHAS SEM FERRÃO E SEUS MICRORGANISMOS	15
5 METODOLOGIA	17
5.1 MÉTODO QUALITATIVO PARA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO	17
5.2 MÉTODO QUALITATIVO PARA SOLUBILIZAÇÃO DE POTÁSSIO	18
5.3 MÉTODO QUALITATIVO PARA SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO INORGÂNICO	19
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
6.1 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (N)	21
6.2 SOLUBILIZAÇÃO DE POTÁSSIO (K)	24
6.3 SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO (P)	29
6.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS	35
7 CONCLUSÃO	38



## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional contínuo e a crescente demanda por uma produção agrícola mais eficiente, o uso de fertilizantes tem desempenhado um papel fundamental para o avanço do agronegócio, sendo um dos pilares do aumento da produtividade agrícola. O emprego desses insumos químicos permitiu a intensificação da produção, ampliando significativamente a quantidade de alimentos produzidos (Maciel; Tunes, 2021).

Contudo, o uso indiscriminado de fertilizantes pode trazer impactos negativos para o meio ambiente. O excesso de fertilizante nitrogenado, por exemplo, causa impactos ambientais significativos, resultando na perda de nitrogênio para a atmosfera e lençóis freáticos. Parte do nitrogênio aplicado é absorvido pelas plantas, enquanto o restante se perde, seja por volatilização de amônia, que gera impactos na atmosfera, seja por lixiviação de nitrato para rios, riachos e águas subterrâneas, ocasionando a eutrofização. A eutrofização promove um crescimento excessivo de algas em corpos d'água, resultando em desequilíbrio ecológico, comprometendo a saúde dos ecossistemas aquáticos (Martinelli, 2007).

Visando reduzir a quantidade necessária do uso de fertilizantes químicos nas áreas agrícolas, a utilização de bioinoculantes promotores de crescimento vegetal tem sido uma opção cada vez mais estudada (Mariano *et al.* 2013; Dias, 2022). As bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV ou PGBP – do inglês “plant growth promoting Bacteria”) formam um grupo de microrganismos capazes de impulsionar o crescimento e o desenvolvimento das plantas, agindo tanto diretamente nas raízes quanto de maneira indireta, em associação com as superfícies radiculares, na área próxima às raízes (rizosfera), na superfície das folhas (filosfera) e até mesmo nos tecidos internos de várias espécies vegetais (Hungria *et al.*, 2010). Além disso, as BPCVs aumentam a resistência das plantas às doenças e aos estresses. (Sturz & Nowak, 2000).

A bioprospecção microbiana representa uma abordagem utilizada para investigar recursos biológicos, envolvendo a identificação de microrganismos, genes, enzimas e a exploração da diversidade de vida em uma região específica. O objetivo desse processo é identificar microrganismos capazes de produzir medicamentos e novas aplicações biotecnológicas (Silva *et al.*, 2019).

Por isso, ambientes pouco explorados e com grande diversidade biológica microbiana como o alimento larval das abelhas sem ferrão, abundante em bactérias, leveduras e fungos filamentosos, fornecem enzimas digestivas, ácidos orgânicos e antibióticos, ajudando na

pré-digestão dos estoques de alimentos, inibindo o crescimento de microrganismos contaminantes (Gilliam, 1989; Santos *et al.*, 2022). Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo realizar a bioprospecção de bactérias isoladas do alimento larval de abelhas sem ferrão visando identificar características desejáveis nas cepas que possam estimular o crescimento de plantas.

## **2 JUSTIFICATIVA**

A relevância dessa pesquisa se deve à necessidade de encontrar soluções sustentáveis para a agricultura visando a redução do uso de fertilizantes químicos que prejudicam o meio ambiente já que, segundo o Portal Embrapa (2021) estima-se que os fertilizantes químicos sintéticos representem uma parte significativa das emissões de óxido nitroso, um potente gás de efeito estufa, contribuindo assim para as mudanças climáticas.

Em contrapartida aos fertilizantes químicos, os fertilizantes biológicos oferecem uma alternativa promissora para a agricultura. Além de não poluírem a água, não degradarem o solo e não contribuírem para as mudanças climáticas, os biofertilizantes também promovem o aumento da biodiversidade no solo (Mendes, 2021).

Além disso, tem a possibilidade de contribuir para aumentar a produtividade agrícola e oferecer alternativas econômicas aos agricultores brasileiros, visto que, cerca de 85% dos fertilizantes utilizados no Brasil são importados, deixando o setor agrícola vulnerável a oscilações do mercado internacional (IBRAM, 2024; ANDA, 2023). Portanto, a pesquisa tem o potencial de impulsionar avanços científicos na microbiologia agrícola.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar a bioprospecção de bactérias isoladas do alimento larval de abelhas sem ferrão com potencial agrícola para promoção de crescimento vegetal.

### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a capacidade de fixação de nitrogênio em 11 bactérias isoladas do alimento larval de das espécies *Melipona scutellaris* e *Melipona quadrifasciata* de abelhas sem ferrão;
- b) Investigar o potencial das bactérias para a solubilização de potássio.
- c) Investigar o potencial das bactérias para a solubilização de fosfato.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL

O grupo de microrganismos conhecido como bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) compreende organismos de vida livre, bactérias de relações simbióticas e bactérias endolíticas com o potencial de estimular o desenvolvimento das plantas, tanto de maneira direta quanto indireta por meio de suas atividades biológicas. Essas bactérias podem colonizar a rizosfera ou penetrar nos tecidos vegetais, estabelecendo uma relação benéfica entre planta e microrganismo (Glick, 2012).

A rizosfera é um ambiente dinâmico e complexo, onde as interações entre as raízes das plantas e os microrganismos são essenciais para a saúde do solo e das plantas. É uma região rica em nutrientes, onde as raízes das plantas liberam compostos orgânicos, como aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos, mucilagem e fatores de crescimento. Esses compostos atuam como fonte de energia e nutrientes para microrganismos, que desempenham um papel crucial nos ciclos de nutrientes e no estímulo ao crescimento vegetal (Moura, 2019).

As BPCV proporcionam efeitos positivos em plantas, tanto na fase de propagação "*in vitro*" quanto "*ex vitro*". Esses benefícios são, principalmente, evidenciados pelo aumento em diversos aspectos, como: a área foliar, altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas e matéria seca. Além disso, contribuem para a redução do tempo de aclimatização, aumentam a sobrevivência de mudas, controlam doenças e promovem um aumento geral na produtividade das plantas (Mariano *et al.*, 2013).

A utilização de substâncias naturais, como extratos botânicos, biofertilizantes e bioestimulantes, ou a adoção de bactérias promotoras de crescimento vegetal, pode ser uma alternativa segura e ecologicamente correta para aprimorar os sistemas de produção agrícola,

contribuindo para a sustentabilidade dos agroecossistemas. A utilização crescente de bactérias promotoras de crescimento de plantas nos últimos anos se deve aos diversos benefícios ambientais, como: a atenuação dos efeitos adversos do déficit hídrico e da salinidade, a fitoextração de metais pesados, a regulação hormonal e o controle biológico de fitopatógenos (Dias, 2022) através da produção de compostos antagonistas ou da indução de resistência sistêmica (Saraf *et al.*, 2014).

## 4.2 MECANISMOS DE AÇÃO DAS BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL

A capacidade das bactérias em estimular o crescimento das plantas resulta de mecanismos tanto diretos; como: fixação de nitrogênio, solubilização de nutrientes inorgânicos como potássio e fósforo e produção de fitormônios; quanto indiretos, como proteção contra patógenos e aumento de tolerância ao estresse (Backer *et al.*, 2018). A seguir, serão abordados os mecanismos de fixação de nitrogênio e solubilização de fósforo e potássio e sua importância para a agricultura.

### 4.2.1 Fixação Biológica de Nitrogênio (N)

O nitrogênio desempenha um papel muito importante nos sistemas biológicos, sendo um componente fundamental dos ácidos nucleicos e das proteínas. Como as plantas não conseguem assimilar diretamente o nitrogênio atmosférico, sua principal fonte de entrada nos organismos é através da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), um processo no qual certas bactérias convertem o nitrogênio gasoso ( $N_2$ ) em amônia ( $NH_3$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ) (Embrapa, 2022). Essa via é especialmente relevante para a agricultura e o meio ambiente, pois o nitrogênio proveniente da FBN é menos suscetível à lixiviação e volatilização, contribuindo significativamente para uma agricultura com menor impacto ambiental (Dixon, Khan, 2004).

A fixação biológica de nitrogênio oferece vantagens significativas para a agricultura, como a redução do uso de adubos nitrogenados, contribuição para o autoabastecimento de nitrogênio nas plantas, melhoria das propriedades do solo com o uso de leguminosas como adubos verdes e aumento da produtividade, especialmente em solos carentes de nitrogênio.

Essa prática não apenas economiza custos para os produtores, mas também promove a sustentabilidade ambiental e a saúde do solo (Embrapa, 2022).

#### 4.2.2 Solubilização de Potássio (K)

O potássio (K) é fundamental em vários processos de crescimento das plantas, influenciando a atividade enzimática em processos fisiológicos e metabólicos, como fotossíntese, metabolismo do nitrogênio, síntese de proteínas e carboidratos, regulação de estômatos, tolerância à seca, produção e translocação de carboidratos para áreas de crescimento meristemático, processos de transporte nos tecidos vasculares e crescimento geral da planta (Prajapati; Modi, 2012; Sattar *et al.*, 2019; Sparks; Huang, 1985; Wang *et al.*, 2012).

De acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (2024), o Brasil é o segundo maior consumidor e o principal importador de potássio (K), devido à baixa produção interna desse nutriente. Atualmente, aproximadamente 95% dos fertilizantes potássicos utilizados no Brasil são importados, segundo dados recentes do Conselho Nacional de Fertilizantes (Confert). Essa elevada dependência de importação não apenas aumenta os custos de produção, mas também torna a agricultura suscetível às flutuações do mercado externo, resultando em uma redução da competitividade tanto no mercado interno quanto no externo.

A pesquisa sobre biodisponibilidade de potássio por microrganismos é limitada no Brasil. Contudo, o avanço no desenvolvimento de bioinoculantes abre novas perspectivas para ampliar a produtividade e fertilidade do solo. Essa abordagem mostra-se promissora na substituição parcial ou total dos fertilizantes sintéticos, contribuindo para a autonomia do país nesse setor e mitigando a vulnerabilidade da agricultura às flutuações do mercado internacional (Alves *et al.*, 2021).

Os microrganismos têm a capacidade de solubilizar o potássio por meio da produção de ácidos orgânicos fortes, tais como ácidos oxálico, tartárico e cítrico, além da liberação de íons H<sup>+</sup>. Esse processo ocorre tanto pela acidólise na rizosfera e em minerais, como também pelo intemperismo químico mediado pelo ácido carbônico. A exsudação de ácidos orgânicos emerge como um mecanismo importante na solubilização de minerais ricos em potássio, abrangendo mica, biotita, muscovita, feldspato, ilita e ortoclase, conforme destacado por Kour *et al.* (2020). Diversos ácidos orgânicos, incluindo acético, glicólico, glicônico, láctico,

propiónico, malônico e fumárico, foram identificados como participantes na solubilização de minerais ricos em potássio (Etesami *et al.*, 2017).

#### **4.2.3 Solubilização de Fosfato (P)**

O fósforo (P) é um macronutriente essencial para o crescimento das plantas. Suas funções abrangem aspectos estruturais e metabólicos, uma vez que esse está presente em ácidos nucleicos, fosfolipídios da membrana celular, síntese proteica, além de contribuir para a resistência a doenças, formação de sementes e alongamento das raízes (Kour *et al.*, 2019). Esse está predominantemente presente na forma de compostos insolúveis, impedindo sua absorção pelas plantas e, conseqüentemente, restringindo seu crescimento (SANTOS *et al.*, 2020).

Os microrganismos fazem parte do ciclo do fósforo no solo, contribuindo para os processos de transformação do nutriente. Esses microrganismos têm a capacidade de liberar ortofosfato tanto de fontes orgânicas quanto inorgânicas por meio dos processos de mineralização e solubilização, respectivamente (Hameeda *et al.*, 2008; Jha *et al.*, 2018).

Normalmente, a solubilização de fosfato inorgânico ocorre devido à influência de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como ácido glicônico e cítrico, os quais são produzidos por várias bactérias presentes no solo (Glick, 2012).

### 4.3 ABELHAS SEM FERRÃO E SEUS MICRORGANISMOS

Os meliponíneos, ou abelhas sem ferrão, são um grupo de abelhas com mais de 300 espécies conhecidas em todo o mundo. Fazem parte da subfamília, dentro da família Apidae. Esta subfamília é dividida em Meliponinas e Troponinas e inclui 52 gêneros e mais de 300 espécies de abelhas sem ferrão reconhecidas. Existem dois gêneros principais: *Melipona*, onde as colônias contêm de 500 a 1000 abelhas, e *Trigona*, que possuem de 300 a 80.000 abelhas (Freitas, 2003).

As melíponas, principais abelhas polinizadoras dos ecossistemas tropicais, desempenham um papel importante na polinização de plantas nativas, especialmente no bioma amazônico, garantindo o equilíbrio biológico terrestre (Kerr *et al.*, 1996; Felipe Neto, 2015). Além de serem utilizadas para a polinização de várias espécies de plantas cultiváveis, as abelhas sem ferrão brasileiras têm grande importância socioeconômica devido aos diversos produtos obtidos a partir da meliponicultura, como mel, cera, pólen e geopropolis, um composto que combina resinas vegetais, cera, e solo ou argila, usado para selar colmeias e proteger contra patógenos (Marçal, 2017).

Estudos indicam que as abelhas sem ferrão têm uma forte dependência com microrganismos, uma vez que fornecem recursos alimentares e auxiliam na digestão e conservação dos alimentos, além de protegerem as abelhas contra doenças (Portal Embrapa, 2021). A microbiota associada às abelhas sem ferrão inclui vírus, bactérias, leveduras e fungos filamentosos. Nas colmeias, bactérias e leveduras desempenham atividades metabólicas importantes, como a produção de enzimas, a fermentação de açúcares e a geração de ácidos orgânicos. Essas atividades são essenciais para a transformação microbiana do pólen e do néctar, promovendo mudanças bioquímicas que podem oferecer benefícios nutricionais tanto para as larvas quanto para as abelhas adultas (De Paula *et al.*, 2021).

A diversidade bacteriana associada às abelhas sem ferrão tem sido cada vez mais estudada, com destaque para o gênero *Bacillus*, encontrado no pólen, alimento larval, mel e própolis dessas abelhas. Essas bactérias produzem enzimas digestivas, antibióticos e ácidos graxos que ajudam na digestão dos alimentos e protegem contra organismos competidores. Além de *Bacillus*, foram identificadas bactérias dos gêneros *Streptomyces*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Providencia*, *Serratia* e *Vagococcus*, que também contribuem com substâncias antimicrobianas e desempenham papéis importantes no processamento do pólen e néctar e na proteção das abelhas (Santos, 2022).





## 5 METODOLOGIA

A pesquisa experimental foi conduzida a fim de avaliar qualitativamente o potencial de fixação de nitrogênio e a solubilização de potássio e fosfato em bactérias isoladas do alimento larval de abelhas, pertencentes à Coleção de Microrganismos Isolados de Abelhas sem ferrão do Laboratório de Genética de Biotecnologia da UFU (CoMISBee), gentilmente cedidas pelo Laboratório de Genética da Universidade Federal de Uberlândia (LABGEN). Foram avaliadas 11 diferentes bactérias, codificadas pela Coleção: MS09, MS55, MS11, MS29, MS19C, MQ27, MQ1B, MQ54B, MQ1A, MQ07, MQ20 e MQ47, nas quais as siglas MS pertencem à espécie *Melipona scutellaris* e MQ à *Melipona quadrifasciata*.

Os procedimentos experimentais de fixação e solubilização foram realizados no Laboratório de Análises no Núcleo de Processos Biotecnológicos (NUCBIO) da Faculdade de Engenharia Química da UFU de Janeiro a Abril de 2024.

### 5.1 MÉTODO QUALITATIVO PARA FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

Para a caracterização qualitativa de fixação biológica de nitrogênio, foi utilizado o meio semissólido NFb, adaptado para não conter nitrogênio (DOBEREINER *et al.*, 1995).

Meio NFb adaptado:

- 5,0g de ácido málico;
- 0,5g de  $K_2HPO_4$  (Fosfato de dipotássio);
- 0,2g de  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  (Sulfato de magnésio heptahidratado);
- 0,1g de NaCl (Cloreto de sódio);
- 0,02g de  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$  (Cloreto de cálcio di-hidratado);
- 2ml de solução de micronutrientes (0,04g  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ; 1,20g  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ; 1,40g  $H_3BO_3$ ; 1,00g  $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ ; 1,175g  $MnSO_4 \cdot H_2O$ );
- Azul de bromotimol, solução 0,5% em 0,2N KOH;
- 4,5g de KOH (Hidróxido de potássio);
- 1000mL de água destilada.

Os componentes foram pesados utilizando uma balança analítica e adicionados sequencialmente em um Becker, conforme a ordem indicada na lista. Posteriormente, aproximadamente 400 ml de água destilada foram adicionados. O pH do meio foi medido e, como já estava em 6,5, não foi necessário fazer ajustes.

Foi adicionado 1,75 g de ágar e então esses componentes foram dissolvidos em banho-maria e o volume foi completado para 1000 ml com água destilada. Em seguida, as bactérias foram inoculadas em tubos de ensaio contendo 5 ml de meio semissólido NFB adaptado e estéril, em triplicata, e mantidas em temperatura ambiente.

Após 7 dias de crescimento em estufa bacteriológica a 35 °C, os tubos foram analisados e foram feitas fotografias para registro. O resultado positivo foi caracterizado qualitativamente pela formação de um filme ou halo de crescimento bacteriano, além da mudança do meio para a cor azul, indicando a capacidade de fixação biológica de nitrogênio (Embrapa, 2008).

## 5.2 MÉTODO QUALITATIVO PARA SOLUBILIZAÇÃO DE POTÁSSIO

A metodologia foi adaptada substituindo os discos de papel embebidos pelo inóculo de uma solução de bactérias, que foi pipetada no centro das placas de Petri, uma vez que a unidade em que o experimento foi realizado não possuía esses discos.

As bactérias foram incubadas por 48 horas em caldo nutriente a 28 °C sob agitação contínua de 150 rpm. Após esse tempo, 5 µl das suspensões bacterianas com uma concentração de  $10^8$  UFC/mL foram pipetados no centro de cada placa de Petri contendo meio Aleksandrov, composto por: 5.0 g de glicose, 0.5 g de  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.1 g de  $CaCO_3$ , 0.006 g de  $FeCl_3$ , 2.0 g de  $Ca_3(PO_4)_2$ , 3.0 g de silicato de potássio e alumínio, e 20.0 g de ágar em 1 L de água destilada. O pH deste meio foi ajustado para 7,2 pela adição de NaOH 1 N.

Para uma melhor visualização do halo ao redor das colônias em placas de ágar, adicionou-se um corante indicador ácido-base (azul de bromotimol) para alterar o meio Aleksandrov. Essa modificação foi proposta por Rajawat *et al.* (2016) uma vez que o meio Aleksandrov sem alteração necessita de 21 dias para a realização da análise, e a adição do azul de bromotimol, facilita a visualização, diminuindo o tempo da análise.

Por fim, as placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 26 °C por 7 dias, e, em seguida, mediu-se o diâmetro do halo de solubilização.

### 5.3 MÉTODO QUALITATIVO PARA SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO INORGÂNICO

Para avaliar a capacidade de solubilização de fosfato inorgânico, o método Sylvester-Bradley *et al.* (1982) que consiste na adição de fosfato insolúvel ao meio. Para a análise do fosfato de cálcio e formação do fosfato inorgânico (fosfato bicálcico:  $\text{CaHPO}_4$ ), uma solução de 100 ml de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  a 10% e 50 ml de solução de  $\text{CaCl}_2$  a 10% foram autoclavadas separadamente e adicionadas a 850 ml de meio, resultando em um precipitado fino, o fosfato de cálcio dibásico ( $\text{CaHPO}_4$ ) ou fosfato inorgânico. O meio de cultura utilizado foi o NBRIP, com pH 7,0.

A composição do meio NBRIP é a seguinte:

- Glicose: 10 g
- $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ : 5,0 g
- $\text{MgSO}_4$ : 0,25 g
- KCl: 0,2 g
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ : 0,1 g
- Ágar: 15 g
- Água destilada: 1000 ml

As bactérias foram cultivadas por 48 horas em caldo nutriente estéril a 28 °C sob agitação constante de 150 rpm. Após esse período, 5  $\mu\text{l}$  das suspensões bacterianas na concentração de  $10^8$  UFC  $\text{mL}^{-1}$  foram pipetados no centro de cada placa de Petri contendo meio NBRIP. As placas foram mantidas em estufa a 30 °C por 7 dias. Os organismos capazes de solubilizar fosfato formaram um halo de solubilização ao redor de suas colônias.

O diâmetro do halo (DH) e da colônia (DC) foram medidos para quantificação, de acordo com a equação: Índice de solubilização (IS) = Diâmetro do halo (DH) / Diâmetro da colônia (DC) (Berraquero *et al.* (1976).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho não foi possível oferecer os resultados de identificação a nível genômico das bactérias analisadas, sendo o estudo exclusivamente direcionado a prospectar quais cepas teriam melhor potencial como bactérias promotoras de crescimento vegetal. Os gêneros de BPCV mais estudados incluem *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Streptomyces*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Agrobacterium radiobacter* (Girio *et al.*, 2015). O gênero *Bacillus*, composto por indivíduos Gram-positivos, é reconhecido por estimular a nodulação de leguminosas e a fixação de nitrogênio em simbiose com as plantas (Glick, 2012). *Pseudomonas* sp., pertencente à família *Pseudomonadaceae*, apresenta eficiência no desenvolvimento vegetal, atuando como biocontrole e conferindo características promotoras de crescimento, como a enzima ACC deaminase. *Azospirillum* sp. destaca-se pela fixação de nitrogênio e produção de reguladores de crescimento, enquanto *Enterobacter* sp. e *Streptomyces* sp. mostram potencial na fixação de nitrogênio, produção de fitohormônios e influência no desenvolvimento radicular (Dias, 2022). Quanto às abelhas sem ferrão, são comumente associadas às seguintes bactérias: *Bacillus*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Fructobacillus*, *Lactobacillus*, *Lysinibacillus*, *Neisseria*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* e *Streptomyces* (Silva, 2022).

No Brasil, os primeiros estudos conduzidos com bactérias promotoras de crescimento vegetal foram realizados por Stein (1988) e Freitas (1989) e envolveram a avaliação do uso de *Pseudomonas fluorescentes* para estimular o crescimento de plântulas de tomateiro e cafeeiro em condições de casa de vegetação. A partir desses trabalhos iniciais, diversas pesquisas subsequentes têm sido conduzidas para investigar os efeitos benéficos associados à utilização dessas bactérias.

No contexto comercial, apesar da compreensão limitada das interações BPCV-plantas, algumas cepas são utilizadas como adjuvantes na agricultura. As cepas comercializadas incluem *Agrobacterium radiobacter*, *Azospirillum* spp., *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp. e *Rhizobia* sp. Porém, a aplicação dessas bactérias ainda representa uma pequena fração da prática agrícola global, enfrentando desafios como a seleção eficaz de cepas, regulamentação, compreensão das vantagens entre bactérias rizosféricas e endofíticas, adaptação às condições ambientais e interações potenciais com fungos do solo, por exemplo (Glick, 2012).

## 6.1 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (N)

Dos 11 isolados testados, as bactérias MQ07, MS19C e MS55 (Figuras 1A, 1B e 1C) demonstraram resultados positivos no teste de Fixação de Nitrogênio. Como pode ser observado, no Controle (Figura 1A), o meio de coloração verde claro ficou de cor azulada para as bactérias positivas, com a formação de um filme branco em sua parte superior (Figura 1B). A formação dessa película de crescimento, acompanhado da alteração do pH do meio para coloração azul, pode indicar a capacidade de fixação de nitrogênio (Döbereiner *et al.*, 1995); como também evidenciado no estudo de Almeida (2022), que analisou a capacidade de fixação de nitrogênio em 57 isolados bacterianos.

A variação na intensidade dos halos e na mudança de cor obtidas nos diferentes experimentos sugere que algumas cepas podem ser mais eficientes do que outras (Figura 2), o que pode guiar futuras pesquisas para identificar e utilizar as cepas mais promissoras em campo. Neste estudo a cepa MS55 foi a que mais se destacou, entretanto, a característica de fixação de nitrogênio deve ser validada através de análises mais aprofundadas, tais como a redução do acetileno e estudos moleculares (Aguiar, 2012).

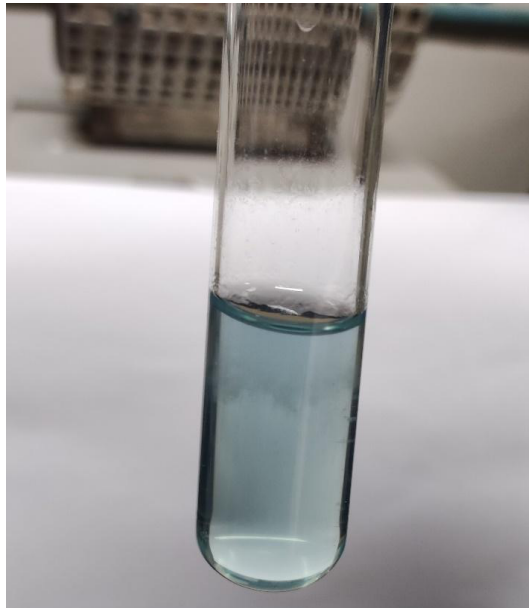
Figura 1 – Avaliação qualitativa do potencial microbiano para fixação biológica de nitrogênio.

A – Controle



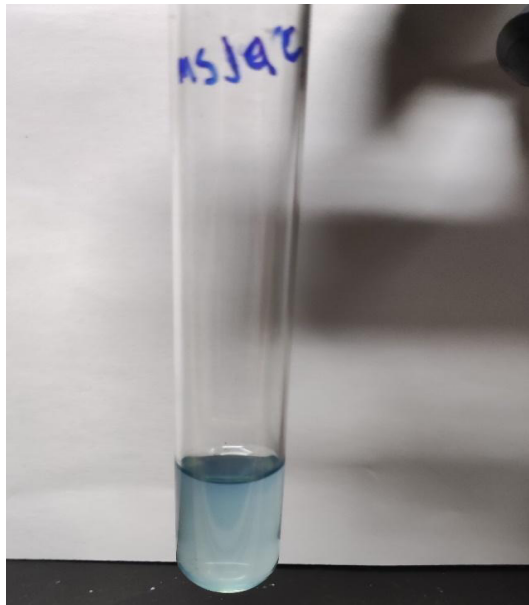
Fonte: autoria própria (2024).

B - Cepa MQ07



Fonte: autoria própria (2024).

C - Cepa MS19C



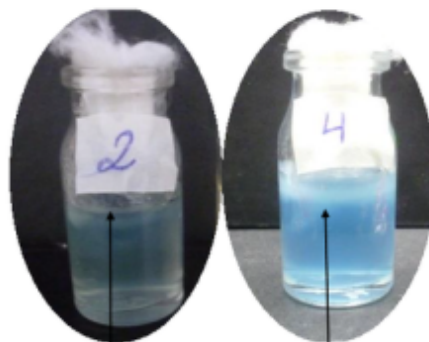
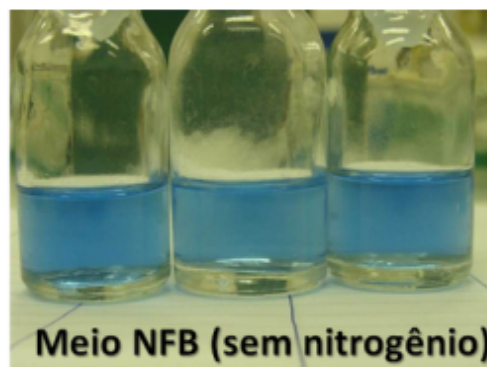
Fonte: autoria própria (2024).

D – Cepa MS55



Fonte: autoria própria (2024).

Figura 2 - Atividade de Fixação de Nitrogênio por Cepas de Bactérias Diazotróficas



Visualização da película aerotóxica típica em meio NFB com azul de bromotimol semi-sólido

Fonte: Almeida (2022).

Entre as espécies mais estudadas que possuem a capacidade de fixar nitrogênio os rizóbios destacam-se por estabelecerem simbiose com plantas leguminosas, como soja e feijão, formando nódulos nas raízes. Esses nódulos possibilitam a conversão do nitrogênio atmosférico em amônia, que é absorvida pela planta, oferecendo uma alternativa à adubação nitrogenada convencional. Essa abordagem, conforme discutido por diversos estudos, têm o potencial de parcial ou totalmente substituir a necessidade de adição de nitrogênio, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis (Bertolo *et al.*, 2021).

A escolha de bactérias diazotróficas pode ser realizada por meio da identificação da atividade da enzima nitrogenase em culturas bacterianas (Park *et al.*, 2005). Outras abordagens incluem o uso do método de redução de acetileno ou de bioensaios, como o desenvolvido por Döbereiner (1995). Este último método envolve o cultivo das bactérias em um meio semi-sólido sem nitrogênio e a observação da formação de uma biopelícula aerotóxica característica. Usa-se o meio semissólido pois segundo Day e Döbereiner (1976) sua consistência proporciona um ambiente propício para a atividade microaeróbia, criando condições ideais tanto para o desenvolvimento celular quanto para a eficácia da enzima nitrogenase.

Os resultados deste estudo corroboram com a literatura existente, evidenciando o potencial das bactérias testadas na fixação de nitrogênio e sua possível aplicação em práticas agrícolas sustentáveis (Soumare *et al.*, 2020).

## 6.2 SOLUBILIZAÇÃO DE POTÁSSIO (K)

Dos 11 isolados testados, as bactérias MQ54B, MQ47 e MS11 (Figuras 3A, 3B e 3C) demonstraram resultados promissores no teste de solubilização de Potássio. Na Tabela 1, foram apresentados os diâmetros dos halos. Neste caso houve a interpretação de que as bactérias que apresentaram halo isento de coloração seriam as promotoras de Potássio, pois o corante foi utilizado como auxiliar visto que no tempo de avaliação deste estudo não foi possível distinguir a olho nu a solubilização do mineral de Potássio.

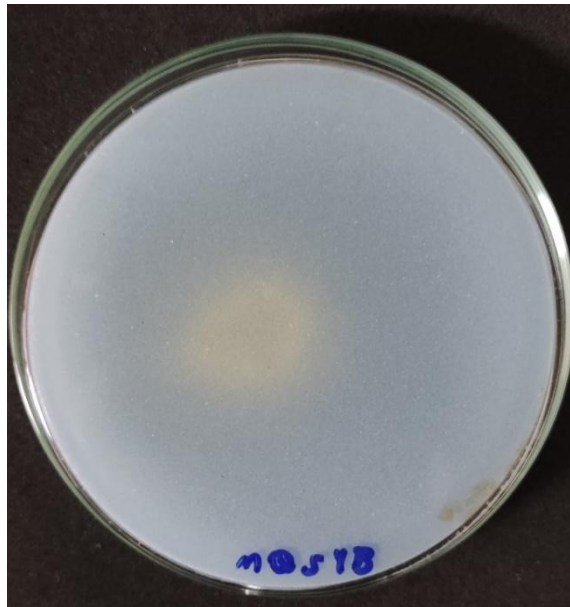
Nascimento *et al.* (2023) avaliaram o potencial de bactérias isoladas de um solo tropical, na solubilização do potássio presente em rochas e resíduos de rocha. Foram isoladas 72 estirpes bacterianas, das quais 5 apresentaram potencial para biossolubilização de potássio,



a partir do teste de halo. Os ensaios de biossolubilização de potássio *in vitro* utilizando as estirpes selecionadas foram realizadas em meio Aleksandrov, com a adição do pó de rocha como única fonte de potássio no meio. Assim como neste estudo os resultados mostraram que todas as estirpes bacterianas selecionadas foram capazes de solubilizar o potássio presente nos pós de rocha.

Figura 3 – Avaliação qualitativa do potencial microbiano para solubilização de potássio.

A – Cepa MQ54B



Fonte: autoria própria (2024).

B – Cepa MQ47



Fonte: autoria própria (2024).

C – Cepa MS11



Fonte: autoria própria (2024).

Tabela 1 – Avaliação do diâmetro do halo para análise qualitativa de bactérias potencialmente solubilizadoras de potássio.

<b>Código da Bactéria</b>	<b>Diâmetro do Halo (mm)</b>
---------------------------	------------------------------

MQ54B	19,6
MQ47	18,3
MS11	21,0

Fonte: autoria própria.

A investigação conduzida por Oliveira *et al.* (2020) também destaca o potencial de solubilização de fosfato e potássio por parte de bactérias diazotróficas, contudo, é relevante notar que este estudo foi realizado em meio líquido, diferenciando-se da abordagem adotada neste trabalho, que foi conduzido em meio sólido. É importante ressaltar que o teor de K no meio interfere na quantidade de K solubilizado, assim como o pH do meio de cultivo que pode reduzir drasticamente a sobrevivência das bactérias (Rossi *et al.*, 2024).

Entre os grupos mais relevantes de bactérias solubilizadoras de potássio (BSK), estão as *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Paenibacillus sp.* (como *P. mucilaginosus* e *P. frequentans*), *Bacillus mucilaginosus*, *B. edaphicus*, *B. circulans*, *Arthrobacter sp.*, *Enterobacter hormaechei*, *Cladosporium sp.*, *Aminobacter sp.*, *Sphingomonas sp.* e *Burkholderia sp.* (Meena *et al.*, 2016). Segundo um experimento realizado por Silva *et al.* (2015) a bactéria *Burkholderia sp.* destacou-se como a mais eficiente na solubilização de potássio, apresentando um incremento significativo de 70% em comparação com o controle não inoculado, também foi observada uma correlação entre a redução do pH do meio e o aumento correspondente na solubilização de potássio (Rossi *et al.*, 2024).

A solubilização de potássio (K) é um processo vital para a agricultura moderna, uma vez que esse mineral é um dos nutrientes essenciais para o crescimento de plantas, sendo assim, sua função abrange desde a regulação da abertura e fechamento dos estômatos até a ativação de enzimas, influenciando diretamente a fotossíntese e a resistência das plantas a estresses ambientais, como secas e doenças (Pádua; Florentino, 2022). Embora exista uma abundância de potássio nos solos, a sua disponibilidade para as plantas é frequentemente limitada, tornando essencial o desenvolvimento de métodos que aumentem essa acessibilidade. Nesse contexto, o uso de bactérias solubilizadoras de potássio (BSK) tem emergido como uma alternativa sustentável e eficiente, contribuindo para a fertilidade do solo e a produtividade agrícola (Souza Júnior *et al.*, 2024)

As bactérias solubilizadoras de potássio atuam através de diversos mecanismos bioquímicos. O mais comum é a produção de ácidos orgânicos, como ácido cítrico e ácido

acético, que são liberados no solo. Esses ácidos têm a capacidade de dissolver minerais que contêm potássio, tornando-o mais acessível para as raízes das plantas. Além da produção de ácidos, algumas BSK também liberam enzimas que promovem a degradação de estruturas minerais complexas, facilitando a liberação de potássio (Rossi *et al*, 2024).

Estudos tem demonstrados que o potássio é essencial para o desenvolvimento das plantas, pois está envolvido em diversos processos fisiológicos, incluindo a síntese de proteínas, a regulação osmótica e a ativação de enzimas essenciais. A presença adequada de potássio favorece o crescimento radicular e a resistência a doenças, além de aumentar a eficiência da fotossíntese. (Masud; Moumita; Fujita, 2023)

A literatura aponta que a deficiência de potássio pode resultar em folhas amareladas, crescimento reduzido e baixa produtividade, impactando negativamente as colheitas. Portanto, aumentar a disponibilidade de potássio no solo é fundamental para garantir colheitas saudáveis e produtivas, o que é especialmente relevante em um contexto de demanda crescente por alimentos (Nohatto; Nagel, 2024).

No que se refere a capacidade de solubilização de potássio, com o intuito de incubação de culturas bacterianas em meios específicos que contêm minerais de potássio, como feldspato ou mica. A eficácia da solubilização é frequentemente medida pelo tamanho dos halos formados ao redor das colônias bacterianas em placas de ágar. Além disso, análises de pH e quantificação do potássio solúvel são realizadas para confirmar a atividade das bactérias. Esses métodos não apenas ajudam a avaliar a eficiência das BSK, mas também fornecem insights sobre como essas bactérias interagem com o solo e os nutrientes disponíveis (Rossi *et al.*, 2024).

Os resultados do estudo atual indicam que as bactérias MQ54B, MQ47 e MS11 apresentaram desempenho promissor na solubilização de potássio, evidenciado pelo aumento significativo dos diâmetros dos halos de solubilização. Esse desempenho sugere um grande potencial para a aplicação dessas bactérias na agricultura.

A correlação entre a redução do pH e o aumento na solubilização de potássio é um tema relevante na microbiologia do solo, uma vez que a diminuição do pH pode resultar na liberação de potássio de minerais que antes eram inativos, aumentando sua disponibilidade para as plantas. Essa interação é essencial para entender como manipular as condições do solo para maximizar a eficácia das BSK, com isso, a acidificação do solo, mediada por atividades bacterianas, pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a disponibilidade de nutrientes, contribuindo para uma agricultura mais produtiva e sustentável (Nohatto; Nagel, 2024).

As descobertas sobre BSK têm implicações diretas na prática agrícola. A aplicação de bactérias solubilizadoras pode reduzir a dependência de fertilizantes químicos, promovendo uma agricultura mais sustentável e econômica. A utilização de inoculantes bacterianos também melhoram a saúde do solo, aumentando a biodiversidade e a atividade microbiológica. Além disso, essas bactérias podem ser utilizadas em sistemas de cultivo orgânico, onde a fertilização química é limitada, ajudando os agricultores a alcançarem resultados satisfatórios em suas colheitas (Rossi *et al.*, 2024).

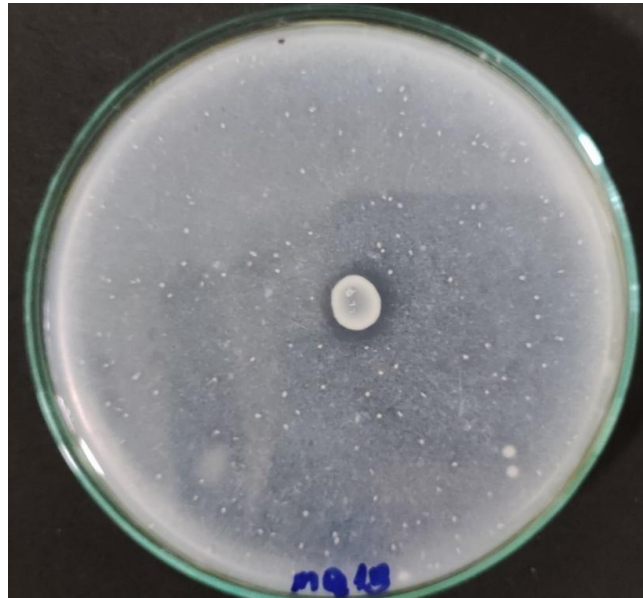
### 6.3 SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO (P)

As bactérias MS55, MS29, MQ47, MS19C, MQ07, MQ1B e MQ27 demonstraram potencial para solubilização de fosfato, como pode ser observado nas figuras 4A, 4B, 4C, 4D e 4E, avaliado a partir da formação de halo, juntamente com os respectivos diâmetros calculados como demonstrado na Tabela 2.

Os microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico (MSFI) representam cerca de 5 a 10% da microbiota total do solo, e sua presença aumenta a disponibilidade de fósforo, considerado o macronutriente mais limitante para o crescimento e produção agrícola no Brasil (Raij, 1991). Portanto, a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato trazem significativos benefícios para o desenvolvimento das plantas, melhorando o suprimento de fósforo (Souchie *et al.*, 2005).

**Figura 4** - Avaliação qualitativa do potencial microbiano para solubilização biológica de Fosfato.

Figura A – Cepa MQ1B.



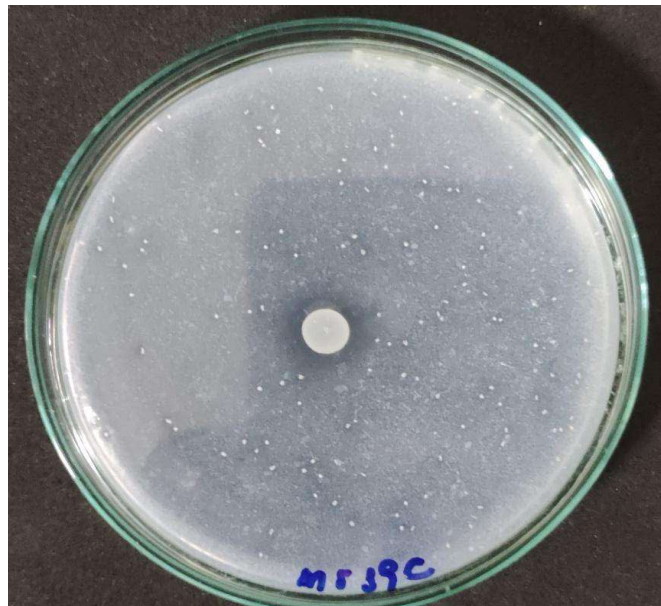
Fonte: autoria própria (2024).

B – Cepa MQ27.



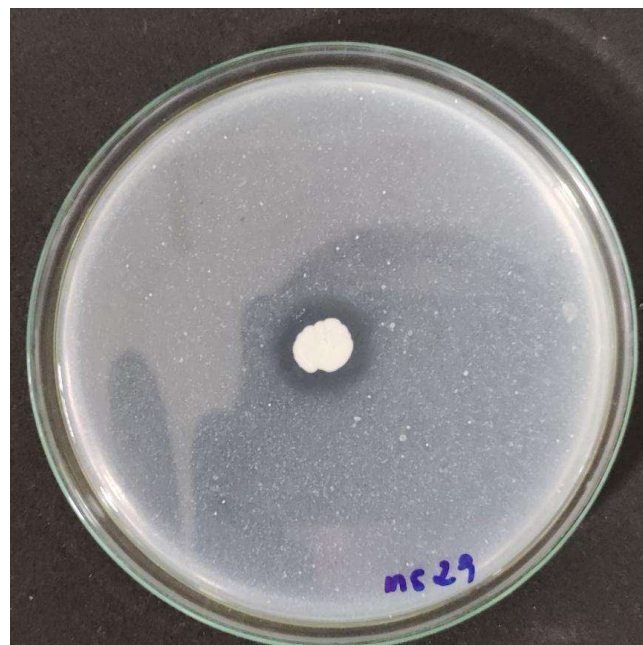
Fonte: autoria própria (2024).

C - Cepa MS19C.



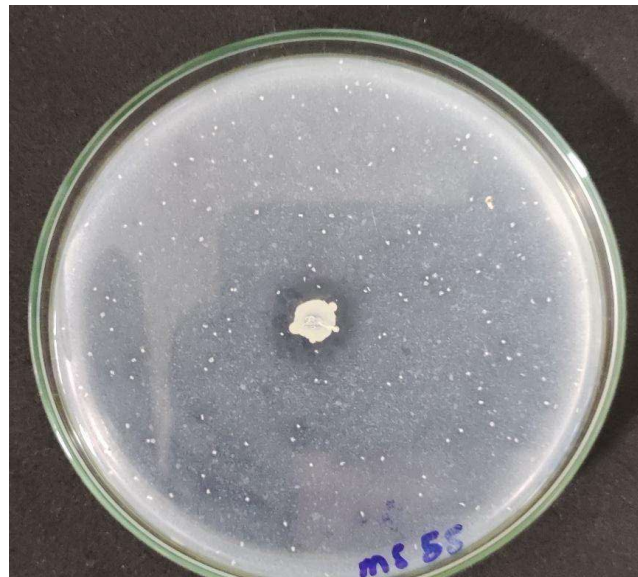
Fonte: autoria própria (2024).

D - Cepa MS29.



Fonte: autoria própria.

E - Cepa MS55.



Fonte: autoria própria (2024).

Tabela 2 – Avaliação do diâmetro do halo para análise qualitativa de bactérias potencialmente solubilizadoras de fosfato.

<b>Código da Bactéria</b>	<b>Diâmetro do Halo (mm)</b>
MS55	13,3
MS29	13,6
MQ47	9,0
MS19C	13,3
MQ07	8,5
MQ1B	10,3
MQ27	15,0

Fonte: autoria própria.

De acordo com Souza Júnior *et al.* (2024), verificou-se que no isolamento das bactérias dos diferentes solos e localidades, foram encontrados 82 isolados bacterianos que apresentaram halos de degradação no meio de cultura a base de fosfato. Foram selecionados



os microrganismos com maior capacidade solubilizadora de fosfato e realizado experimento com plantas de soja em casa de vegetação.

Os microrganismos solubilizadores de fosfato estão amplamente distribuídos na natureza e abrangem bactérias, actinobactérias e fungos. Entre as bactérias, os gêneros mais comuns envolvidos na solubilização de fosfato são *Bacillus sp.* e *Pseudomonas sp.* (Zaidi et al, 2009). Entre os microrganismos solubilizadores de fosfato, as bactérias predominam em número, sendo as Gram-negativas particularmente eficientes na solubilização de fosfatos. Essas bactérias Gram-negativas realizam a solubilização por meio da oxidação extracelular da glicose para ácido glucônico, com a participação da quinoproteína glicose desidrogenase, como observado por Etesami *et al.* (2021).

Os microrganismos solubilizadores de fosfato (MSFI) atuam por meio de processos bioquímicos complexos que tornam o fósforo, presente em formas insolúveis no solo, disponível para as plantas. Um dos principais mecanismos é a produção de ácidos orgânicos, como ácido glucônico, cítrico, oxálico e láctico. No caso de bactérias Gram-negativas, como *Pseudomonas sp.*, a glicose é oxidada pela glicose desidrogenase, uma quinoproteína que participa diretamente da transformação de glicose em ácido glucônico (Inácio *et al.*, 2020)

Esse ácido libera prótons no meio, acidificando o ambiente ao redor da bactéria, o que leva à solubilização do fosfato inorgânico, além da produção de ácidos orgânicos, alguns microrganismos podem produzir enzimas, como fosfatases e fitases, que degradam compostos orgânicos contendo fósforo, liberando-o na forma assimilável para as plantas. A capacidade de liberar fósforo de maneira eficiente depende, portanto, da sinergia entre as características da bactéria e o ambiente onde ela se encontra (Souza Júnior *et al.*, 2024).

O fósforo é um macronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, participando de processos vitais como a fotossíntese, divisão celular e transferência e armazenamento de energia, todavia, devido à sua baixa mobilidade no solo, uma grande parte do fósforo aplicado via fertilizantes químicos torna-se indisponível para as plantas, sendo rapidamente imobilizado em formas insolúveis. A literatura demonstra que a inoculação com bactérias solubilizadoras pode aumentar a produtividade de culturas como soja, milho e trigo, pois além de liberar fósforo, esses microrganismos também podem promover o crescimento das plantas através da produção de hormônios e a melhoria da estrutura do solo (Vey *et al.*, 2023)

Além de aumentar a disponibilidade de fósforo, os microrganismos solubilizadores de fosfato podem desempenhar um papel fundamental na promoção da saúde geral do solo, nesse sentido, a inoculação de MSFI pode alterar positivamente a microbiota do solo, promovendo o crescimento de populações microbianas benéficas e criando um ambiente mais favorável ao desenvolvimento das plantas. O aumento da atividade biológica no solo promove o ciclo de nutrientes, facilita a decomposição de matéria orgânica e melhora a estrutura do solo, tornando-o mais estável e aerado, fatores que favorecem a retenção de água e a penetração das raízes (Oliveira *et al.*, 2024)

O processo de solubilização de fosfato pelos MSFI é altamente dependente das condições ambientais do solo, como pH, temperatura, umidade e a presença de matéria orgânica. Solos ácidos tendem a favorecer a solubilização de fosfatos, uma vez que muitos microrganismos solubilizadores produzem ácidos que reduzem o pH local. Em solos muito alcalinos, porém, a atividade desses microrganismos pode ser inibida, tornando a inoculação menos eficaz.

Além disso, as condições de temperatura também influenciam a eficiência das bactérias, sendo que temperaturas moderadas (entre 20°C e 30°C) são ideais para a maioria dos MSFI. A disponibilidade de matéria orgânica no solo é outro fator importante, pois serve de fonte de carbono para o metabolismo microbiano. Solos com alto teor de matéria orgânica tendem a favorecer uma maior atividade microbiana, incluindo a solubilização de fosfato. Fatores como irrigação e práticas de manejo também podem influenciar a eficiência dos MSFI, uma vez que o excesso ou a falta de água pode limitar a atividade microbiana e o transporte de nutrientes no solo (Lovon; Curi, 2022).

Embora os microrganismos solubilizadores de fosfato apresentem um grande potencial para melhorar a eficiência do uso de fósforo na agricultura, há desafios para sua implementação em larga escala. Um dos principais desafios é garantir que os MSFI permaneçam ativos e viáveis no solo após a inoculação. Solos com condições adversas, como alta salinidade, pH extremo ou baixos níveis de matéria orgânica, podem não sustentar o crescimento dessas bactérias. Ainda, a competição com outros microrganismos já presentes no solo pode limitar a eficiência dos MSFI, pois eles precisam competir por recursos como carbono e nitrogênio. Outra limitação está na variabilidade de resposta das culturas à inoculação com MSFI, já que a eficácia desses microrganismos pode variar amplamente dependendo da espécie de planta, do tipo de solo e das condições climáticas (Souza Júnior *et al.*, 2024).

## 6.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Diante dessas questões, pode se considerar que esse estudo demonstra que a eficiência das bactérias para a solubilização de minerais é fundamental para o equilíbrio de ciclos biogeoquímicos, bem como para plantações (Andrade, Castro, Reginatto; 2024). No que tange a práticas agrícolas sustentáveis é importante destacar o papel das bactérias na fertilização do solo e na fixação do nitrogênio, isso contribui para a redução de fertilizantes químicos e contaminações freáticas (Brazil *et al.*, 2023). Com isso, a atuação desses microrganismos no solo pode reduzir impactos da agricultura.

O potássio, o nitrogênio e o fósforo são os macronutrientes essenciais para as plantas, desempenham um papel importante em várias funções fisiológicas, como a regulação da água, a ativação de enzimas e a síntese de proteínas (Ruschel; Britto, 2024). Apesar de sua relevância, esses minerais frequentemente se encontram em formas que não são assimiláveis pelas plantas, o que pode limitar seu crescimento e produtividade.

A produção de ácidos orgânicos, por exemplo, ajuda na dissolução dos minerais e libera potássio no meio ambiente como resultado dos mecanismos fixadores de potássio. Além disso, essas bactérias também podem liberar enzimas que ajudam a decompor substâncias insolúveis, aumentando a disponibilidade de nutrientes. A interação simbiótica entre as bactérias e as raízes das plantas se mostrou um aspecto fundamental para o crescimento de plantas, uma vez que essas plantas fornecem nutrientes às bactérias em troca de minerais e outros elementos essenciais.

Esses resultados corroboram para demonstrar que a presença de bactérias pode aumentar significativamente a disponibilidade de minerais, bem como taxas de crescimento e produtividade das plantas (Brazil *et al.*, 2023). Portanto, a compreensão desse mecanismo (bactéria-fixação-raiz) é fundamental não apenas para a agricultura, mas também para a preservação de espécies e conservação da flora. Outros estudos têm demonstrado que as culturas do milho, soja e arroz se beneficiam da presença dessas bactérias, apresentando maiores rendimentos em comparação com solos não inoculados.

Evidências mostram que a diversidade de espécies de bactérias solubilizadoras de potássio, nitrogênio e fósforo pode variar de acordo com o tipo de solo e as condições ambientais (Andrade, Castro, Reginatto; 2024). Essa diversidade é essencial para a eficácia desses microrganismos, pois cada espécie tem uma capacidade de solubilização diferente,

adaptando-se às necessidades e ao ambiente das plantas. A escolha de certas cepas dessas bactérias, ajustadas às condições locais, pode maximizar a solubilização de minerais. No entanto, a utilização em larga escala desses microrganismos apresenta alguns desafios, pois fatores como o pH do solo, a umidade e a temperatura podem afetar a eficácia das bactérias. Se necessário, esses fatores devem ser ajustados. Além disso, a competição com outros microrganismos presentes no solo pode impactar a sobrevivência e a atividade desses seres fixadores, exigindo um entendimento mais profundo da microbiota do solo e das interações entre as espécies.

A bioprospecção de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCVs) tem se tornado uma área de crescente interesse na microbiologia, devido à sua capacidade de melhorar a saúde e a eficiência das plantas, bem como contribuir com a qualidade da flora. Ademais, é válido ressaltar que esses seres microscópicos promovem uma série de outras interações benéficas com o meio e podem desempenhar um papel significativo na melhoria da sustentabilidade em qualquer que seja sua aplicação. A relação entre essas bactérias e os microrganismos associados às abelhas é complexa e revela uma interconexão importante entre a saúde do solo, a saúde das plantas e o bem-estar dos polinizadores.

O potássio é vital para a regulação da água e o funcionamento celular, enquanto o fósforo torna-se fundamental para a transferência de energia e desenvolvimento radicular. A eficiência das bactérias na solubilização desses nutrientes está diretamente ligada à sua capacidade de produzir ácidos orgânicos e enzimas que quebram os compostos minerais insolúveis. A presença de uma microbiota saudável no solo, que inclui essas bactérias, é fundamental para a promoção do crescimento vegetal, resultando em plantas mais robustas, capazes de suportar estresses ambientais, como seca e pragas (Almeida *et al.*, 2024).

Além da capacidade bacteriana de fixação de minerais é importante demonstrar a relação entre esses microrganismos e agentes polinizadores, principalmente as abelhas. Esses insetos, ao coletarem o néctar e o pólen, não apenas se alimentam, mas também promovem a polinização de plantas que, por sua vez, são influenciadas pela saúde do solo e pela disponibilidade de nutrientes (Andrade, Castro, Reginatto; 2024).

Em linhas gerais, pode-se dizer que quando os microrganismos fixadores são introduzidos no solo, elas melhoram a qualidade das plantas, resultando em flores mais saudáveis e nutritivas, que atraem mais polinizadores, como as abelhas. Assim, aqui se estabelece um ciclo biológico entre plantas, bactérias fixadoras e abelhas, com isso promoção do crescimento vegetal por meio da bioprospecção de BPCVs pode, indiretamente, beneficiar

as populações de abelhas, através da produção de substâncias pelas bactérias que auxiliam no ciclo biológico das abelhas no meio ambiente, contribuindo para a sua saúde e vitalidade (Ruschel; Britto, 2024).

As interações entre as bactérias do solo e os microrganismos das abelhas também se estendem ao potencial de transferência de bactérias benéficas. As abelhas podem transportar microrganismos do solo, incluindo BPCVs, em seus corpos e no pólen que coletam. Isso estabelece um ciclo de retroalimentação em que a saúde do solo e das plantas é interligada à saúde das colônias de abelhas (Lima *et al.*, 2023). Por exemplo, a presença de bactérias que solubilizam potássio e fósforo no ambiente pode resultar em uma maior qualidade e abundância de flores, fornecendo alimento adequado para as abelhas, enquanto a diversidade microbiana nas colônias de abelhas pode influenciar a saúde e a resistência das plantas (Almeida *et al.*, 2024).

A solubilização de potássio e fósforo por essas bactérias não é apenas uma questão de disponibilidade de nutrientes, mas também um fator que contribui para a resiliência dos ecossistemas. Em um contexto de mudanças climáticas e degradação ambiental, a utilização de BPCVs pode ser uma estratégia importante para promover a sustentabilidade agrícola. Através da melhora na eficiência na utilização de nutrientes, as plantas podem crescer de forma mais saudável, o que, por sua vez, ajuda a manter populações de abelhas e outros polinizadores. Essa dinâmica é essencial para a produção de alimentos e para a manutenção da biodiversidade (Döbereiner, Arruda, Penteado; 1966).

Com isso, é válido destacar que a bioprospecção de bactérias promotoras de crescimento vegetal, especialmente aquelas que solubilizam potássio e fósforo, não só contribui para a saúde e produtividade das plantas, mas também está intrinsecamente ligada ao bem-estar das abelhas e à saúde dos ecossistemas em geral (Brazil *et al.*, 2023). A interdependência entre esses microrganismos do solo e os polinizadores demonstra a necessidade de abordagens integradas na agricultura, onde a promoção da microbiota saudável no solo é tida como uma estratégia chave para garantir a sustentabilidade e a resiliência dos sistemas agrícolas. Essa visão holística não apenas promove a produtividade agrícola, mas também protege os polinizadores, essenciais para a segurança alimentar e a manutenção da biodiversidade (Andrade, Castro, Reginatto; 2024).

## 7 CONCLUSÃO

Por fim, pôde-se observar que, dos 11 isolados analisados, 3 (27,27%) apresentaram indícios de capacidade para fixação de nitrogênio e solubilização de potássio, enquanto 7 (63,64%) demonstraram potencial para solubilização de fosfato.

Assim, esse estudo validou a capacidade dessas bactérias de solubilizar nutrientes e fixar minerais. Portanto, é essencial continuar investindo em pesquisas para explorar e expandir o potencial dos microrganismos na saúde da flora. Posteriormente, as bactérias serão identificadas a nível de gênero ou espécie e poderão ser aplicadas em campo.

Novos estudos são necessários para descobrir novas cepas bacterianas, entender melhor os mecanismos de ação e desenvolver tecnologias inovadoras para a aplicação prática desses microrganismos. A inovação contínua e o aprofundamento do conhecimento nessa área são fundamentais para enfrentar os desafios agrícolas atuais e futuros, promovendo um futuro mais sustentável e produtivo para a agricultura global.

## REFERÊNCIAS

**Abelhas sem ferrão usam microrganismos para preservar o mel e muito mais.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/63051018/abelhas-sem-ferrao-usam-microrganismos-para-preservar-o-mel--e-muito-mais>>. Acesso em: 29 maio. 2024.

AGUIAR, Kamilla Pereira **Prospecção de bactérias promotoras do crescimento vegetal associadas à vermicompostos** / Kamilla Pereira Aguiar. - 2012. 100 f.: il. Dissertação (Mestrado Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2012. Bibliografia: f. 63-86.

Almeida, Saul de Campos **de Melo Seleção de bactérias diazotróficas não simbióticas solubilizadoras de fosfatos.** / Saul de Campos de Melo Almeida. – 2022. 42 f.; il. Monografia de Graduação em Agronomia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Importação de fertilizantes cresce 10,9% em 2024.** Disponível em: <https://revistacultivar.com.br>. Acesso em: 26 out. 2024.

ANDRADE, Adalgisa Rodrigues; CASTRO, Alex Soares; REGINATTO, Valeria. Sistemas Bioeletroquímicos: Célula Eletrolítica Microbiana para a Produção de Hidrogênio. **Revista Virtual de Química**, v. 16, n. 1, 2024.

ALVES, *et al.* Solubilização de potássio presente em minerais por microrganismos e efeitos no desenvolvimento de culturas agrícolas. **Embrapa.br**, 2021.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Relatório sobre o mercado de fertilizantes – Janeiro a julho/2023.** Disponível em: <https://anda.org.br/wp-content/uploads/2023/10/Comentarios.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2024.

BACKER, R. et al. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, 23 out. 2018.

BERTOLO, Fernanda de Oliveira de Andrade et al. **A Fixação biológica de nitrogênio e os inoculantes.** Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2021. 19 p. (Comunicado Técnico, 7).

BRAZIL, Gabriela Alves et al. Prospecção de bactérias promotoras de crescimento vegetal e resistentes a salinidade associada à *Blutaparon portulacóides* (A. St.-Hil.) Mears (Amarantaceae). In: **Congresso Fluminense de Pós-Graduação-CONPG**. 2023.

DAY, J.M.; DÖBEREINER, J. Physiological aspects of N-fixation by a *Spirillum* from *Digitaria* roots. **Soil and Biology Biochemistry**, Oxford, v.8, p.45-50, 1976

DIAS, Anderson dos Santos. **Bactérias promotoras de crescimento de plantas: conceitos e potencial de uso** / Anderson dos Santos Dias, Cleberton Correia Santos. – Nova Xavantina,

MT: Pantanal, 2022.

DIXON, R.; KAHN, D. Genetic regulation of biological nitrogen fixation. **Nature Reviews Microbiology**, London, v. 2, n. 8, p. 621-631, 2004.

DÖBEREINER, J.; ARRUDA, N.B. de; PENTEADO, A. de F. Avaliação da fixação do nitrogênio em leguminosas, pela regressão do nitrogênio total das plantas sobre o peso dos nódulos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.1, p.233-237, 1966.

DÖBEREINER, J., Baldani, V.L.D., Reis, V.M. (1995a) Endophytic occurrence of diazotrophic bacteria in non-leguminous crops In: Fendrik, I., Del Gallo, M.; Vanderleyden, J.; De Zamaroczy, M. (Ed.). **Azospirillum VI and related microorganisms**. Berlin: Springer-Verlag., 3 -14.

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF, 2018. 201 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/o-futuro-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 9 nov. 2024.

ETESAMI, H.; JEONG, B.R.; GLICK, B.R. Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Phosphate-Solubilizing Bacteria, and Silicon to P Uptake by Plant. **Frontiers in Plant Science**. 2021.

F. RUIZ BERRAQUERO; ANA M<sup>a</sup>. BAYA; A. RAMOS CORMENZANA. Establecimiento de índices para el estudio de la solubilización de fosfatos por bacterias del suelo. **Ars Pharmaceutica (Internet)**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 399–406, 1976. Disponível em: <https://revistaseug.ugr.es/index.php/ars/article/view/24869>. Acesso em: 4 ago. 2024.

FELIPE NETO, C. A. L. **Influência da estrutura da paisagem sobre a produção e qualidade de mel da abelha jandaíra (Melipona subnitida, Apidae: Meliponini) na Caatinga**. 2015. 62f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal: Ecologia e Conservação do Semiárido). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

FREITAS, S.S. Desenvolvimento de plântulas de café pela inoculação de *Pseudomonas* sp. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 13:31-34. 1989.

FREITAS, B. M. Meliponíneos. In: FREITAS, Breno Magalhães. A vida das abelhas. Fortaleza, Ceará, 2003. Apud ANDRADE. **Atividade de voo da abelha urucu nordestina (Melipona scutellaris) nas diferentes épocas do ano**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil. Disponível em: [https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/3367/1/tcc\\_milenaoliveiradeandrad e.pdf](https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/3367/1/tcc_milenaoliveiradeandrad e.pdf). Acesso em: 17 mai. 2024.

**Fixação biológica de nitrogênio** - Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana/producao/correc-a-o-e-adubacao/fixacao-biologica-de-nitrogenio>>. Acesso em: 17 mai. 2024.

GILLIAM, M.; ROUBIK, D. W.; LORENZ, B. J. Microorganisms associated with pollen, honey, and brood provisions in the nest of a stingless bee, *Melipona fasciata*. **Apidologie**, v. 21, n. 2, p. 89–97, 1990.



GÍRIO, L. A., Dias, F. L. F., Reis, V. M., Urquiaga, S., Schultz, N., Bolonhezi, D., & Mutton, M. A. (2015). Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-deaçúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 50, 33–43.

GOLDSTEIN, AH., Braverman, K., OSORIO, N. Evidence for mutualism between a plant growing in a phosphate-limited desert environment and a mineral phosphate solubilizing (MPS) rhizobacterium. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 30, p. 295-300, 1999. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1999.tb00657.x>

HAMEEDA, B., HARINI, G., RUPELA, O. P., WANI, S. P., REDDY, G. Growth promotion of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. **Microbiological Research**, v. 163, p. 234-242, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.05.009>

HIPÓLITO, J.; CURI, M. A. Bacterias solubilizadoras de fósforo inorgánico aislados de la rizósfera de Coffea americana en Rioja – Perú. **Ciencia e Investigación**, v. 25, n. 1, p. 11–15, 31 ago. 2022.

HUNGRIA, M., Campo, R. J., Souza, E. M. e Pedrosa, F. O. (2010). Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, 331, 413-425. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0>.

IBRAM. **Governo Federal lança Plano Nacional de Fertilizantes para reduzir importação dos insumos**. Disponível em: <https://ibram.org.br>. Acesso em: 22 nov. 2024

INÁCIO, A. C. F.; HARA, F. A. dos S.; VENDRUSCOLO, J.; NETO, P. de Q. C.; DE SOUZA, L. C. C. Caracterização morfofisiológica de bactérias solubilizadoras de fosfatos provenientes da rizosfera de plantas alimentícias não convencionais / Morphophysiological characterization of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of non-conventional food plants. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 24547–24565, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-055. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/9563>. Acesso em: 20 jul. 2024.

JHA, S. Kr., AHMAD, Z., CROWLEY, D. E. Fuzzy-genetic approaches for estimation of microbial rock phosphate solubilization in sandy clay loam textured soil. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 150, p. 125-133, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.014>

KERR, W.E.; CARVALHO, G. A; NASCIMENTO, V.A.; et al. **Abelha urucu: biologia, manejo e conservação**. Belo Horizonte: Fundação Aguangaú, 144p., 1996.

KOUR, D. et al. Biodiversity, current developments and potential biotechnological applications of Phosphorus-solubilizing and -mobilizing microbes: A review. **Pedosphere**. V. 31(1), p. 43-75, 2021

LIMA, Julliane Destro et al. Expanding agricultural potential through biological nitrogen fixation: Recent advances and diversity of diazotrophic bacteria **Revista de Química**, 2023.

MACIEL, L. M.; TUNES, L. V. M. DE. A importância dos fertilizantes para a agricultura/ The importance of fertilizers for agriculture. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 58647–58658, 15 jun. 2021.

MARIANO, R. de L. R.; SILVEIRA, E. B. da; ASSIS, S. M. P. de; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R. P.; DONATO, V. M. T. S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, [S. l.], v. 1, p. 89–111, 2013. Disponível em: <https://www.journals.ufpe.br/index.php/apca/article/view/70>. Acesso em: 31 out. 2023.

MARTINELLI L. A. Os caminhos do nitrogênio - do fertilizante ao poluente. **Informações agrônômicas**, número 118, junho de 2007.

MASUD, Abdul Awal Chowdhury; MOUMITA; FUJITA, Masayuki. Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses. **Agronomy**, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/agronomy>. Acesso em: 14 nov. 2024.

MEENA, V. S. et al. Potassium-Solubilizing Microorganism in Evergreen Agriculture: An Overview. **Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture**, p. 1–20, 2016.

MENDES, I. de C.; REIS JUNIOR, F. B. dos; HUNGRIA, M.; SOUSA, D. M. G.; CAMPO, R. J. **Fixação biológica de nitrogênio e o meio-ambiente**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/570280>. Acesso em: 27 nov. 2024.

MENDES DA SILVA, Ana Clara. Biofertilizantes: Estudo de opinião, tendência das pesquisas e Legislação Brasileira, p. 79. 2021.

MOURA, Ginaini Grazielli Doin de. **Seleção de bactérias promotoras de crescimento vegetal na cultura do morangueiro** / Ginaini Grazielli Doin de Moura. - 2019. 162 p. : il.

NACIF-MARÇAL, L. **Comunidades bacterianas associadas a colônias de abelhas amazônicas sem ferrão da espécie *Melipona seminigra*: diversidade e potencial enzimático**. 2017. 134 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

NASCIMENTO, M. RUIZ FRAZÃO DO; LEONEL DA ROCHA, D.; SAMPAIO VIDEIRA, S.; MIGUEL DE SOUZA, I.; DUARTE CUNHA, C. BIOSOLUBILIZAÇÃO DE ROCHAS E RESÍDUOS DE ROCHAS COMO FONTES ALTERNATIVAS DE FERTILIZANTES PARA A AGRICULTURA. **Revista Ensaios Pioneiros**, [S. l.], v. 7, n. 2, 2023. DOI: 10.24933/rep.v7i2.313. Disponível em: <https://www.revistaensaiospioneiros.usf.edu.br/ensaios/article/view/313>. Acesso em: 7 out. 2024.

OLIVEIRA, A. J.; FRANCO, T. C.; FLORENTINO, L.A.; LANDGRAF, P. R. C. Characterization of associative diazotrophic bacteria in torch ginger. **Semina: Ciências**

**Agrárias**, v.41, p.2815-2824, 2020.

PÁDUA, E. G., FLORENTINO, L. A. Uso do fonolito e bactérias solubilizadoras de potássio na cultura do feijoeiro. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, e53711226248, 2022 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 |

PARK, M., Kim, C., Yang, J., Lee, H., Shin, W., Kim, S., Sa, T. (2005) Isolation and characterization of diazotrophic growth promoting bacteria from rhizosphere of agricultural crops of Korea. **Microbiology Research**., 160(2):127-133

PAULA, Gabriela Toninato de et al. **Stingless bees and microbial interactions**. Current Opinion in Insect Science, v. 44, p. 41-47, 2021Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.11.006>. Acesso em: 03 ago. 2024.

PRAJAPATI, K.; MODI, H. A. The importance of potassium in plant growth: a review. **Indian Journal of Plant Sciences**, v. 1, n. 1/2, p. 177-186, 2012

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.

RAJAWAT, M. V. S. et al. A Modified Plate Assay for Rapid Screening of Potassium-Solubilizing Bacteria. **Pedosphere**, v. 26, n. 5, p. 768–773, out. 2016.

ROSA, E. F. F., C. N. Andrade., S. Luz., J. F. Kaseker., M. A. Nohatto., L. E. T. Nagel. Avaliação de interação entre bactérias solubilizadoras de fosfato e micorrizas, com doses de fósforo na cultura do milho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 23 n. 2, 2024

ROSSI, C. N.; VIDEIRA, S. S.; GITAHY, P. de M.; VIDAL, M. S.; BALDANI, J. I. Ajustes metodológicos para avaliação in vitro da biossolubilização de rochas potássicas por diferentes espécies de bactérias associadas a plantas de interesse agrônômico. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPAB). p. 13. **Seropédica: Embrapa Agrobiologia**, 2024.

RUSCHEL, Alaides Puppim; DE SOUZA BRITTO, Disce Pinto Pacca. Fixação assimbiótica de nitrogênio atmosférico em algumas gramíneas e na tiririca pelas bactérias do gênero *Beijerinckia* Derx. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 1, n. 1, p. 65-69, 2024.

SANTOS, A. C. C. et al. Antimicrobial activity of supernatants produced by bacteria isolated from Brazilian stingless bee's larval food. **BMC microbiology**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2022.

SANTOS, R. M.; DIAZ, P. A. E.; LOBO, L. L. B.; RIGOBELLO, E. C. Use of plant growthpromoting rhizobacteria in maize and sugarcane: characteristics and applications. **Frontiers in sustainable Food Systems**, v. 4, n. 136, p. 1-15, 2020. doi: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00136>

SARAF, M.; PANDYA, U.; THAKKAR, A. Role of allelochemicals in plant growth promoting rhizobacteria for biocontrol of phytopathogens. **Microbiological Research**, v. 169, n. 1, p. 18–29, jan. 2014.

SATTAR, A. et al. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. **Applied Soil Ecology**, v. 133, p. 146–159, jan. 2019.

SILVA, J. M. et al. Antagonismo de thielaviopsis paradoxa e fusarium oxysporum por fungos rizosféricos associados à cactáceas do semiárido alagoano e eficiência de duas técnicas de avaliação. **Global Science and Technology**, v. 12, n. 1, 2019.

SILVA, R. **Biodiversidade de leveduras cultiváveis associadas ao mel e ao pólen das abelhas sem ferrão: identificação por espectrometria de massa MALDI-TOF MS/** Raquel Nunes Almeida da Silva. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

SOUZA DE ALMEIDA, V. G. et al. Parâmetros sobre ciclo de nutrientes em pasturas. **Pubvet**, v. 18, n. 01, p. e1539, 14 dez. 2023.

SOUZA JÚNIOR, I. T. DE et al. Prospecção de bactérias solubilizadoras de fósforo, promotoras de crescimento de plantas de soja e biocontroladoras do fungo *sclerotinia sclerotiorum*. **Connection line - revista eletrônica do univag**, v. 31, n. 31, 11 jul. 2024.

SYLVESTER-BRADLEY, R.; ASAKAWA, N.; LA TORRACA, S.; MAGALHÃES, F.M.M.; OLIVEIRA, L.A. & PEREIRA, R.M. Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. **Acta Amazon.**, 12:15-22, 1982.

SPARKS, D. L.; HUANG, P. M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R. D. (Ed.). Potassium in agriculture. Madison: **American Society of Agronomy**, 1985. p. 201-27

STEIN, R.L.B. **Efeito de Pseudomonas spp. fluorescentes no controle in vitro de fungos do solo e no desenvolvimento do tomateiro (Lycopersicon esculentum Mill.)** (Dissertação de Mestrado). Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 1988.

STURZ, A. V., Nowak, J. (2000) Endophytic communities of rhizobacteria and the strategies required to create yield enhancing associations with crops. **Applied Soil Ecology.**, 15:183-190.

**Uso de agrotóxicos - Portal Embrapa.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/uso-de-agrotoxicos>>.

SOUCHIE, E.L.; BAREA, J.M. ; SAGGIN-JUNIOR, O.J. e DA SILVA, E.M.R. Solubilização de fosfatos em meios sólido e líquido por bactérias e fungos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.1149-1152, 2005.

VEY, R. T. **Bactérias solubilizadoras de fosfato na cultura da soja.** 2023. 91f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa maria, Santa Maria, 2023. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/29585/TES\\_PPGAGRONOMIA\\_2023\\_VEY\\_R\\_OSANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/29585/TES_PPGAGRONOMIA_2023_VEY_R_OSANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Acesso em: 22 set. 2024.

WANG, N.; HUA, H.; ENEJI, A. E.; LI, Z.; DUAN, L.; TIAN, X. Genotypic variation in photosynthetic and physiological adjustment to potassium deficiency in cotton (*Gossypium hirsutum*). **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 110, p. 1-8, 2012.

DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2012.02.002.

ZAIDI, A., KHAN, MS., AHEMAD, M., OVES, M. Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria. **Acta microbiologica et immunologica Hungarica**, v. 56, p. 263-284, 2009. <https://doi.org/10.1556/amicr.56.2009.3.6>