



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS**  
**CURSO DE AGRONOMIA**



**JOSÉ MACIEL MARIANO DA SILVA**

**BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO INORGÂNICO EM SOLO  
PRESERVADO E ANTROPIZADO DA RESERVA BIOLÓGICA DE PEDRA  
TALHADA-AL**

**GARANHUNS**

**2019**

**JOSÉ MACIEL MARIANO DA SILVA**

**BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO INORGÂNICO EM SOLO  
PRESERVADO E ANTROPIZADO DA RESERVA BIOLÓGICA DE PEDRA  
TALHADA-AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns, como parte das exigências do Curso de Bacharelado em Agronomia para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Júlia Kuklinsky Sobral**

**GARANHUNS**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S586b

Silva, José Maciel Mariano da

Bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico em solo preservado e antropizado da Reserva Biológica de Pedra Talhada - AL / José Maciel Mariano da Silva. - 2019.  
33 f. : il.

Orientadora: Júlia Kuklinsky. Sobral..  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Agronomia, Garanhuns, 2019.

1. Microrganismos. 2. Fósforo. 3. Mata Atlântica. 4. Pastagem. 5. Agricultura. I. Sobral., Júlia Kuklinsky., orient. II. Título

CDD 630

---

**JOSÉ MACIEL MARIANO DA SILVA**

**BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO INORGÂNICO EM SOLO  
PRESERVADO E ANTROPIZADO DA RESERVA BIOLÓGICA DE PEDRA  
TALHADA - AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns, como parte das exigências do Curso de Bacharelado em Agronomia para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

**APROVADO em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_**

---

**Marcos Ferreira Teixeira**

Eng. Agrônomo (UFRPE-UAG),  
Mestrando em Ciências do Solo (ESALQ-USP)

---

**Andreza Raquel Barbosa de Farias**

Dr.<sup>a</sup> em Agronomia (UFC)

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Júlia Kuklinsky Sobral**

**(Orientadora)**

**GARANHUNS**

**2019**

Em especial à minha mãe Ana Lúcia (in memoriam),  
ao meu pai Valdir e a todos os meus familiares que  
tem origem essencialmente rural.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tudo que representa em minha vida e por dar sentido a cada momento vivenciado.

Ao meu pai Valdir, por ser minha base, meu exemplo, meu herói, por me ensinar tanto sem dizer uma palavra, por me amar tanto sem ser necessário dizer “eu te amo”.

Às minhas avós Sebastiana e Edite, por sempre estarem cuidando e dando tanto carinho a mim.

Aos meus primos Erique e Fernanda, por terem compartilhado tantos momentos de “arengas” e brincadeiras.

À minha querida tia Célia, por sempre ter acreditado em mim e me dado todo incentivo e carinho que foram essenciais para que eu me tornasse tão forte.

À minha tia Bernadete, por ter aberto as portas de sua casa no momento em que eu precisei.

A todos os meus tios e tias que são exemplos de pessoas determinadas, batalhadoras e que me enchem de orgulho.

À minha namorada Fernanda, por ter sido uma das minhas maiores fontes de força para que eu conseguisse algumas aprovações em concursos e por sempre estar do meu lado.

Aos meus professores da graduação: Júlia, Paulo Dil, Mácio, César, Ueder, Jeandson, Edilma, Betânia, Horasa, Epaminondas, Vidoderis, Vitor, Daniela, Duda, Erica, Antony, Anderson, Hudson, Safira, Airon, Gilmara, Alexandre, Metri, Rodrigo, Pricilla, Geane, Werônica, Ana Pontes, Milfont, Rachel, Wallace, Samara, Toninho, Molica, Luciana, Josabete, Wellington, Liliane, Arminda, Dartagnan, Robson, Cibele, Fernando e Mairon.

Aos meus professores do Ensino Médio: Joelma, Flávia Rejane, Fabiano Mota, Bruno Nonato, Patrícia, Luziane, Aparecida, Gledson, Tereza, Ronaldo e Márcia Núbia.

Aos meus professores do Fundamental 2: Veralúcia, Advanira, José Alves (Ziza), Amanda, Valdete, Michele, Zaira, Eliocássia e Roseane.

Às minhas professoras do Fundamental 1: Lúcia e Maria Auxiliadora (Mena).

Enfim, reconhecendo sua importância na formação de cada cidadão, a todos as pessoas que foram meus professores, especialmente a primeira e mais importante das professoras: Ana Lúcia, minha querida e eterna mãe, que, mesmo com pouco estudo, foi a primeira pessoa a colocar um lápis em minha mão e me ensinar as primeiras letras.

Aos meus amigos do Ensino Médio que sempre tive um carinho enorme Alexsandro, Ezequiel, Cabral, Valdeir, Francisco e Pedro Paulo.

À minha madrinha Veralúcia, pela atenção e carinho de sempre e principalmente apoio me dado no início dessa jornada.

À minha orientadora e tutora Prof.<sup>a</sup> Júlia K. Sobral, pelo incentivo, apoio, dedicação e principalmente por ter tido o privilégio de fazer parte de sua equipe de laboratório e PET.

A Marcos Teixeira e Andreza Raquel, por terem aceitado o convite com entusiasmo para fazer parte da banca de avaliação deste TCC.

Aos meus amigos de sala Analice, Anderson, Diva, Kerolaine, Jenifer, João Pedro, Lusivan, Lucas, Tarciso, Lilian, Jeferson, Ronaldo, Mário, Matheus, Mara, Thais e

principalmente os Agroresidentes: Evair, Eduardo, Daniel e Filipe por terem sido verdadeiros amigos, companheiros ao longo dessa jornada.

A todos os residentes da UAG, pelo convívio diário, momentos de descontração, parceria e ajuda.

Aos amigos de LGBM Caio, Marcos, Anderson, Alyson, Erivaldo, Everlaine, Júlio e Jesimiel, por toda a ajuda, companheirismo e conhecimento transmitido.

Ao Programa PET Biotecnologia pelo apoio financeiro e pela oportunidade de crescimento acadêmico, profissional e pessoal.

Aos meus amigos de PET Biotecnologia Anderson, Erivaldo, Everlaine, João Pedro, Caio, Marcos, Renata, Hellen, Sarah, Natália, Pedro, Tiago, Afonso, Everton, Bruno, Júlio, Ronaldo, Erlaine, Márcio Melquiades, Márcio Neri, Marciano, Alyson, Rita, Luciane e Shilton, pelo convívio e troca de experiências.

Ao Laboratório de Física do Solo (UFRPE-UAG), por ter contribuído pelo desenvolvimento desse trabalho.

Ao Prof. Mácio Farias, por ter contribuído pelo desenvolvimento desse trabalho, mas principalmente pelo apoio, ajuda e confiança em mim depositada.

Ao Prof. Paulo Dil, que com seu entusiasmo e amor pelo que faz foi essencial por parte de meio crescimento.

À PROGESTI, pelos auxílios fornecidos que foram essenciais para minha permanência na faculdade, em especial ao servidor Jesiel, que foi responsável pela expressiva melhoria na gestão da Residência Estudantil.

Ao querido Seu José, que com sua simplicidade, alegria e dedicação que enchia de felicidade o dia a dia dos residentes.

A todos os servidores e terceirizados da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns do mais baixo ao mais alto cargo, por fazer funcionar essa instituição e me proporcionar essa oportunidade de ter realizado do curso de Agronomia.

**Muito Obrigado!**

Talvez seja hora de mudar  
Sei que Deus tem algo para mim  
Mas sei que tenho que dar meu melhor aqui.  
(Rosa de Saron)



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Isolamento de bactérias do solo, pertencentes às áreas de agricultura, mata e pastagem, em meio seletivo contendo fosfato insolúvel. A: Bactéria solubilizadora de fosfato inorgânico; B: Bactéria não solubilizadora de fosfato inorgânico.....22
- Figura 2 – Densidade populacional estimada pelas unidades formadoras de colônia por grama de solo do total e de bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico insolúvel de área de agricultura, mata e pastagem. Letras iguais não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).....23
- Figura 3 – Teste positivo quanto à solubilização de fosfato inorgânico com a presença de halo de solubilização .....24
- Figura 4 – Solubilização de fosfato pelo isolado bacteriana AL-26 sob pHs 4,5 e 7,2 (letras maiúsculas) em relação ao tempo (letras minúsculas). Letras iguais não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).....25

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físicas dos solos coletados nas áreas de agricultura, mata e pastagem localizadas na Reserva Biológica de Pedra Talhada.....	19
Tabela 2 – Características químicas dos solos coletados nas áreas de agricultura, mata e pastagem localizadas na Reserva Biológica de Pedra Talhada. ....	20
Tabela 3 – Índice de solubilização de fosfato inorgânico (IS) de isolados bacterianos em meio fosfato com pH 4,5. Letras iguais não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). NS = Não Solubilizou.....	24
Tabela 4 – Índice de solubilização de fosfato inorgânico (IS) de isolados bacterianos em meio fosfato com pH 7,2. Letras iguais não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). NS = Não Solubilizou.....	25

## RESUMO

De maneira geral, os solos das regiões tropicais e húmidas são bastante intemperizados e ácidos, apresentando elevada capacidade máxima de adsorção de fósforo, devido à alta afinidade desse elemento com ferro, alumínio e cálcio. Devido a isso, a aplicação de adubos fosfatados apresenta baixa eficiência, em torno de 10 a 25%. Os microrganismos presentes no solo têm um papel de extrema relevância na disponibilização de fósforo para as plantas. Esses microrganismos, principalmente bactérias e fungos, apresentam dois mecanismos de liberação de fósforo para a solução do solo: reações de solubilização do fósforo inorgânico e de mineralização do fósforo orgânico. Nesse sentido, a inoculação e manutenção de tais seres é de suma importância para substituir ou diminuir o uso de fertilizantes fosfatados solúveis, melhorando o aproveitamento dos fosfatos naturais existentes ou adicionados ao solo e aplicação de fontes solúveis, dessa forma, contribuindo para reduzir a dependência de fertilizantes importados, os custos da produção agrícola e também os impactos ambientais. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a comunidade bacteriana solubilizadora de fosfato inorgânico em solos sob cobertura de agricultura, mata nativa e pastagem da Reserva Biológica de Pedra Talhada localizada em Quebrangulo – AL. O isolamento bacteriano foi realizado em meio de cultura específico para bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico. A estimativa da população bacteriana total foi quantificada por unidades formadoras de colônias por grama de solo (UFC g<sup>-1</sup>). Foram selecionados isolados para quantificar sua capacidade de solubilização. A cada 3 dias, foram medidos os diâmetros das colônias e dos halos de solubilização com auxílio de um paquímetro digital para determinar o Índice de Solubilização (IS), definido pela razão entre o diâmetro médio do halo de solubilização e o diâmetro médio da colônia bacteriana. Foi observado que a densidade populacional bacteriana solubilizadora de fosfato inorgânico variou de 2·10<sup>6</sup> (mata) a 1·10<sup>9</sup> (pastagem) UFC g<sup>-1</sup>. Não houve diferença significativa entre as áreas em relação ao total de bactérias. Entretanto, houve diferença significativa entre as áreas em relação a bactérias capazes de solubilizar fosfato inorgânico e não solubilizadoras. A área de pastagem apresentou maior população bacteriana solubilizadora de fosfato inorgânico; enquanto a área de mata, menor. A maioria dos isolados apresentaram baixa capacidade de solubilização, apenas o isolado AL-26 destacou-se, apresentando média capacidade de solubilizar. Podendo, posteriormente, ser mais explorado em experimentos para promoção de crescimento vegetal.

**Palavras - chave:** microrganismos, fósforo, Mata Atlântica, pastagem, agricultura.

## ABSTRACT

In general, the soils of the tropical and humid regions are quite intemperate and acidic, presenting high maximum phosphorus adsorption capacity due to the high affinity of this element with iron, aluminum and calcium. Due to this, the application of phosphate fertilizers has low efficiency, around 10 to 25%. The microorganisms present in the soil have a role of extreme relevance in the availability of phosphorus for the plants. These microorganisms, mainly bacteria and fungi, present two mechanisms of phosphorus release for soil solution: solubilization reactions of inorganic phosphorus and mineralization of organic phosphorus. In this sense, the inoculation and maintenance of such beings is of paramount importance to replace or decrease the use of soluble phosphate fertilizers, improving the utilization of existing natural phosphates or added to the soil and application of soluble sources, thus, contributing to reduce dependence on imported fertilizers, the costs of agricultural production and also environmental impacts. Therefore, the objective of this work was to evaluate the inorganic phosphate-solubilizing bacterial community in soils under cover of agriculture, native forest and pasture of the Biological Reserve at Pedra Talhada located in Quebrangulo – AL. Isolation Bacterial was performed in a culture medium specific to inorganic phosphate solubilizing bacteria. The estimate of the total bacterial population was quantified by colony-forming units per gram of soil (UFC g<sup>-1</sup>). Isolates were selected to quantify their solubilization capacity. Every 3 days, the diameters of the colonies and solubilization halos were measured with the aid of a digital caliper to determine the Solubilization Index (IS), defined by the ratio between the average diameter of the solubilization halo and the average diameter of the colony bacterial. It was observed that the bacterial population density solubilizing of inorganic phosphate ranged from 2·10<sup>6</sup> (forest) to 1·10<sup>9</sup> (pasture) UFC g<sup>-1</sup>. There was no significant difference between the areas in relation to the total bacteria. However, there was a significant difference between the areas in relation to bacteria capable of solubilizing inorganic phosphate and non-solubilizers. The pasture area presented the largest bacterial population solubilizing of inorganic phosphate; while the forest area, smaller. Most isolates presented low solubilization capacity, only the isolate AL-26 stood out, presenting a mean ability to solubilize. It may later be further explored in experiments to promote plant growth.

**Keywords:** microorganisms, phosphorus, Atlantic Forest, pasture, agriculture.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
2.1 FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA .....	15
2.2 SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO INORGÂNICO.....	16
2.3 COMUNIDADE MICROBIANA DO SOLO .....	17
2.4 RESERVA BIOLÓGICA DE PEDRA TALHADA .....	18
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
3.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE SOLO .....	19
3.2 ISOLAMENTO BACTERIANO DO SOLO .....	20
3.3 DENSIDADE POPULACIONAL BACTERIANA.....	20
3.4 SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO INORGÂNICO.....	21
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	21
<b>4 RESULTADOS</b> .....	22
4.1 ISOLAMENTO BACTERIANO .....	22
4.2 DENSIDADE POPULACIONAL .....	22
4.3 SELEÇÃO E ISOLAMENTO.....	23
4.4 ÍNDICE DE SOLUBILIZAÇÃO .....	23
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	26
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	28
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	29

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que contém vários biomas e possui uma grande variedade de tipos de solo. De maneira geral, os solos das regiões tropicais e húmidas são bastante intemperizados e ácidos, apresentando elevada capacidade máxima de adsorção de fósforo devido à alta afinidade deste elemento com metais como ferro, formando o mineral strengita ( $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), e alumínio, formando o mineral variscita ( $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), dessa forma, o fósforo torna-se indisponível para as plantas mesmo estando em grande quantidade no solo (RAIJ, 2004; KORNDÖRFER; MELO, 2009; PAVINATO *et al.*, 2017).

Em solos alcalinos o fósforo também é precipitado quando se une ao cálcio, formando compostos cada vez mais insolúveis na seguinte sequência: fosfato dicálcico ( $\text{CaHPO}_4$ ), fosfato tricálcico [ $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ], fosfato octocálcio [ $\text{Ca}_8\text{H}(\text{PO}_4)_3$ ], hidroxiapatita [ $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ ] e fluorapatita [ $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$ ] (RAIJ, 2004).

Os teores de fósforo na solução do solo são determinados pela solubilidade dos compostos. Fosfatos de ferro e alumínio tornam-se mais solúveis com o aumento do pH do solo, no entanto, quando o determinador de equilíbrio é o fósforo de cálcio, o aumento do pH ocasiona a diminuição do teor desse elemento na solução do solo (RAIJ, 2004). Dessa forma, o pH do solo está intimamente relacionado com a disponibilidade de fósforo para as plantas.

O fósforo presente na fase sólida do solo é classificado em duas frações: lábil e não-lábil. Cada fração pode ser classificada em fósforo orgânico e fósforo inorgânico (MENDES; REIS JUNIOR, 2003). Em condições tropicais úmidas, o fósforo orgânico assume relevante importância na conservação do fósforo disponível para as plantas, por reduzir os efeitos do processo de adsorção de fósforo inorgânico, pela fase mineral do solo (CUNHA *et al.*, 2007).

Os microrganismos presentes no solo têm um papel de extrema relevância na disponibilização de fósforo para as plantas. Esses microrganismos, principalmente bactérias e fungos, apresentam dois mecanismos de liberação de fósforo para a solução do solo: reações de solubilização do fósforo inorgânico e de mineralização do fósforo orgânico (OLIVEIRA *et al.*, 2009; RICHARDSON; GOMES *et al.*, 2014; VASSILEV *et al.*, 2014; PAIVA *et al.*, 2018). Os microrganismos solubilizadores de fosfatos inorgânico são capazes de disponibilizar o fósforo complexado a Ca, Fe e Al, principalmente pela liberação de ácidos orgânicos, os principais são:

ácidos láctico, glicólico, cítrico, málico, oxálico, succínico e tartárico (KUCEY *et al.*, 1989; MENDES; REIS JUNIOR, 2003). Já os mineralizadores liberam o fósforo orgânico de resíduos orgânicos presentes no solo, principalmente naqueles com alto teor de matéria orgânica, através da produção de enzimas do tipo fosfatases, principalmente a fosfatases ácidas (INUI, 2009; RICHARDSON *et al.*, 2009; OGBO, 2010; VASSILEVA *et al.*, 2010; PAIVA *et al.*, 2018). Devido ao potencial desses microrganismos, diversos estudos vêm sendo realizados para avaliar a capacidade de solubilização de fosfato inorgânico.

Desse modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar a comunidade bacteriana solubilizadora de fosfato inorgânico nativa de solos sob cobertura de agricultura, mata nativa e pastagem da Reserva Biológica de Pedra Talhada localizada em Quebrangulo – AL.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA

Em solos do cerrado brasileiro, o fósforo é o elemento mais limitante da produção agrícola devido à sua baixa quantidade presente nesses solos e à alta capacidade de retenção do elemento por esses solos em sua fase sólida (MARTINHÃO *et al*, 2004). Adubos fosfatados apresentam baixa eficiência de aplicação. Apenas cerca de 10 a 25% do fósforo aplicado ao solo fica disponível para as plantas, o restante fica indisponível devido à precipitação com alumínio e ferro em solos ácidos (MENDES; REIS JUNIOR, 2003 BALIAH, 2016).

Estudo realizado por pesquisadores da Embrapa Solos e de outras instituições brasileiras revela que quase metade do fósforo aplicado na agricultura em forma de fertilizante inorgânico nos últimos 50 anos continua na terra, cálculos apontam que um total de 45,7 milhões de toneladas de fósforo foi aplicado no Brasil desde 1960, atualmente estima-se que 22,8 milhões desse montante continue fixado no solo (EMBRAPA, 2019a).

Os fertilizantes fosfatados são os mais utilizados no Brasil. Em 2017, 35% do consumo aparente de fertilizantes foram de fosfatados, correspondente a mais de 12 milhões de toneladas (IPNI, 2019). Aproximadamente 50% dos fertilizantes fosfatados utilizados no Brasil são importados (RODRIGUES *et al.*, 2015).

Os adubos fosfatados são originários da extração de apatitas, que são rochas de origem ígnea (ação vulcânica), e de fosforitas, que são rochas originárias do depósito de sedimentação no leito dos oceanos (LOPES *et al.*, 2004). As fontes de fósforo são finitas e não renováveis e podem causar um aumento no preço dos fertilizantes principalmente devido a aumentos nos custos de processamento das rochas (VASSILEV *et al*, 2009; VASSILEVA *et al.*, 2010).

Dessa forma, comprometendo a sustentabilidade e competitividades do agronegócio brasileiro diante do mercado internacional (RIBEIRO *et al*, 2015). Uma alternativa efetiva e sustentável para a solução desse problema seria uma combinação de práticas de manejo de solo e plantas e uma exploração racional de microrganismos capazes de tornar o fósforo disponível para as plantas, diminuindo o uso de fertilizantes fosfatados.



## 2.2 SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO INORGÂNICO

O fósforo é um constituinte celular primordial e desempenha funções como constituinte da membrana celular, composição de nucleotídeos (DNA e RNA) e produção, transferência e armazenamento de energia (ATP e NADPH), portanto o fósforo é essencial para a fotossíntese, respiração, transferência de genes e reprodução (STAUFFER; SULEWSKI, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013). Tornando-se assim um elemento essencial indispensável no desenvolvimento das plantas.

O conhecimento da composição e dinâmica de grupos funcionais específicos na microbiota do solo têm relevância na busca pela conservação ambiental aliada à agricultura sustentável. Microrganismos solubilizadores de fosfatos e o manejo de suas populações têm sido sugeridos como uma forma de substituir ou diminuir o uso de fertilizantes fosfatados solúveis, melhorando o aproveitamento dos fosfatos naturais existentes ou adicionados ao solo e aplicação de fontes solúveis, dessa forma, contribuindo para reduzir a dependência de fertilizantes importados, os custos da produção agrícola e também os impactos ambientais (GOLDSTEIN, 1986; KIM *et al.*, 1998; GOMES *et al.*, 2014).

Dos microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico, destacam-se as bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Agrobacterium* e os fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* (SIQUEIRA *et al.*, 2004). Com relação a esses microrganismos solubilizadores, os dados da literatura dão mais ênfase às bactérias do que aos fungos, pois aquelas são potencialmente mais promissoras no processo de solubilização de fosfato (BARROTI; NAHAS, 2000).

Os microrganismos utilizam diferentes mecanismos para transformar formas pouco solúveis de fosfato em solúveis, como processos de acidificação, quelação e reações de troca, mas o principal mecanismo de solubilização é a liberação de metabólitos como ácidos orgânicos e enzimas extracelulares (HAMEEDA *et al.*, 2008; YOUNG *et al.*, 2013; BALIAH *et al.*, 2016; ABREU *et al.*, 2017;). Outro mecanismo provável de solubilização de fosfatos, principalmente o fosfato de ferro (estregita), é a produção de sideróforos, que são moléculas orgânicas de baixo peso molecular produzidas por algumas espécies de microrganismos, cuja função principal é complexar metais, em especial ferro em estado insolúvel (BATISTA *et al.*, 2018).

Muitos microrganismos solubilizadores de fosfato têm sido usados como biofertilizantes (PAIVA *et al.*, 2018). Países como Argentina, Canadá, África do Sul, Índia, Austrália, Filipinas e Estados Unidos têm investido na linha de bioprodutos visando reduzir o uso indiscriminado de adubos fosfatados. No Brasil, o uso desse tipo de inoculante ainda é incipiente, no mês de agosto de 2019 foi lançado no mercado o primeiro inoculante, composto por duas espécies do gênero *Bacillus* solubilizadoras de fosfato, totalmente desenvolvido a partir de tecnologia brasileira, esse bioproduto originou-se de uma parceria entre a empresa pública Embrapa e a empresa privada Bioma (EMBRAPA, 2019b).

### 2.3 COMUNIDADE MICROBIANA DO SOLO

As comunidades microbianas do solo e a microbiota associadas às plantas têm um papel importante sobre as funções vitais do ecossistema e manutenção da estrutura e qualidade do solo, atuando na decomposição da matéria orgânica, solubilização e ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio, degradação de xenobióticos, e promoção de crescimento vegetal (ALLEN; SCHLESINGER, 2004; COTTA, 2016).

A microbiota do solo associada a plantas em ambientes nativos apresenta composição genética e fisiológica diversa. A diversidade de espécies que compõe a serrapilheira pode influenciar significativamente a decomposição, a ciclagem de nutrientes e a mineralização do solo e tem efeitos na promoção de crescimento vegetal, na composição da comunidade e no funcionamento dos ecossistemas (HATTENSCHWILER *et al.*, 2005; FRAGA *et al.*, 2012). Os microrganismos têm um grande impacto na produtividade dos vegetais. Em relação à interação entre microrganismos e plantas, dois mecanismos principais podem ser distinguidos: efeito de via indireto da ação de vida livre do microrganismo que altera as taxas de suplemento de nutriente e efeito direto sobre as plantas via associação com raízes que formam mutualismo ou relacionamento patogênico com plantas, (HEIJDEN *et al.*, 2008; FRAGA *et al.*, 2012).

As plantas vivem em íntima relação com microrganismos do solo durante todo seu ciclo. Todas as plantas, com exceção das famílias Liliaceae e Brassicaceae, possuem associações com fungos, essa associação é denominada micorriza (PRIMAVESI, 2002). Outra associação simbiótica bastante conhecida e explorada entre plantas e microrganismos é a associação

mutualística de plantas da família Fabaceae com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, formando nódulos em suas raízes (PRIMAVESI, 2002; OLIVEIRA, 2016).

No entanto, essa relação não precisa ser tão íntima. Na rizosfera existe um grande número de microrganismos que se aproveitam das excreções radiculares das plantas, em contrapartida as plantas são beneficiadas por eles, devido à capacidade que alguns microrganismos têm de fixar nitrogênio atmosférico, solubilizar fosfato inorgânico, produzir fitormônios, competir com patógenos do solo entre outros benefícios (ANDREOTE *et al.*, 2014; GLICK, 2015; OLIVEIRA, 2016).

#### 2.4 RESERVA BIOLÓGICA DE PEDRA TALHADA

A Reserva Biológica de Pedra Talhada está localizada na divisa entre os estados de Alagoas e Pernambuco, seu bioma típico é Mata Atlântica e possui área total de 4.382,37 hectares (MMA, 2019). A maior parte da área abrange os municípios de Quebrangulo – AL (60%) e Lagoa do Ouro – PE (39%), apenas 1% está distribuído entre os municípios de Chã Preta – AL e Correntes – PE, com altitude variando entre 459 m a 883 m (TSCHARNER *et al.*, 2015 apud UFRPE, 1991). A região é caracterizada pelo clima tropical chuvoso, com duas estações bem definidas: verão seco, de outubro a abril, e inverno chuvoso, de maio a setembro, com médias pluviométricas anuais de 1.250 a 1.500 mm, e temperaturas médias anuais em torno de 25°C (GUIMARÃES, 2014).

A criação da Reserva se deu através do Decreto Presidencial nº 98.524 de 13 de dezembro de 1989. Após sua criação, ocorreu a indenização de apenas um proprietário, que possuía uma parcela correspondente a 61% da área total da Reserva (SOUSA *et al.*, 2015). No entanto, não foram indenizadas a maioria das famílias que moram e/ou trabalham no interior da Reserva, e até hoje essas famílias praticam atividades de agricultura e pastagem no interior e ao redor da reserva.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO E COLETA DE SOLO

Foram avaliadas três diferentes áreas: sob vegetação nativa (9°13'25,8" S e 36°26'21,6" O); pastagem (9°13'26,6" S e 36°26'17" O) e agricultura (9°13'17,5" S e 36°26'15,7" O) da Reserva Biológica de Pedra Talhada, localizadas no município de Quebrangulo-AL. A área da mata selecionada tinha declividade acentuada, caracterizada como encosta, constituída por uma grande variedade de árvores de médio e grande porte, típicas do bioma Mata Atlântica. A área da agricultura selecionada foi uma baixada, onde é praticada agricultura de subsistência há décadas, as principais culturas implantadas são: milho, feijão e batata-doce, nessa área nunca foi realizada a prática de calagem, mas recebeu aplicação de fertilizantes orgânicos e sintéticos. A área de pastagem selecionada foi uma encosta, onde está implantado há décadas o capim do gênero *Brachiaria*, essa área nunca recebeu calcário, nem nenhum tipo de fertilizante. Foram coletadas 10 amostras simples de cada área, à profundidade de 20 cm, em seguida, misturadas para formarem uma amostra composta. Sendo assim, cada área contendo uma amostra composta. O momento de coleta das amostras foi no final do mês de abril, fim do período de estiagem e início do período chuvoso.

Cada amostra composta foi dividida em duas partes, uma destinada à análise biológica e outra destinada a análises física e química. As amostras para análise biológica foram colocadas em tubos do tipo falcon, acondicionadas em recipiente de isopor contendo gelo e levadas ao Laboratório de Genética e Biotecnologia Microbiana da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAG-UFRPE). As amostras para análise física e química foram encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo da UAG-UFRPE (Tabela 1) e laboratório particular (Tabela 2), respectivamente.

Tabela 1 – Características físicas dos solos coletados nas áreas de agricultura, mata e pastagem localizadas na Reserva Biológica de Pedra Talhada.

Área	Análise Física			Textura
	Areia	Silte	Argila	
		-----%		
Agricultura	80	9	11	Franco arenoso
Mata	57	10	33	Franco argiloso arenoso
Pastagem	70	10	20	Franco argiloso arenoso

Fonte: Elaboração própria

Tabela 2 – Características químicas dos solos coletados nas áreas de agricultura, mata e pastagem localizadas na Reserva Biológica de Pedra Talhada.

Área	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Análises Químicas							Mat. Org. g Kg <sup>-1</sup>
		P mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	Al	Al+H	CTC	
Agricultura	4,3	5,0	0,06	0,7	0,2	0,2	2,7	3,66	16
Mata	3,8	3,0	0,11	0,2	0,1	0,9	6,9	7,31	53
Pastagem	4,7	3,0	0,15	1,3	0,6	0,1	2,5	4,55	35

Fonte: Elaboração própria

### 3.2 ISOLAMENTO BACTERIANO DO SOLO

O isolamento bacteriano foi realizado seguindo metodologia de Santos (2013), com algumas modificações. Para o isolamento de bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico presentes no solo, 5g de solo foram colocados em frascos erlernmeyer, contendo 5 g de pérolas de vidro e 50 mL de tampão PBS (1,44 g L<sup>-1</sup> de Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 0,24 g L<sup>-1</sup> de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 0,20 g L<sup>-1</sup> de KCl; 8,00 g L<sup>-1</sup> de NaCl; pH 7,4). Estes frascos foram mantidos sob agitação constante em 120 rpm, em temperatura ambiente, por 40 minutos. Em seguida, foram colocadas diluições seriadas (10<sup>-5</sup> e 10<sup>-7</sup>) em PBS e 100 µL desta solução foram inoculados em placas de petri contendo meio sólido rico em fosfato inorgânico seletivo para bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico (10 g L<sup>-1</sup> de glicose; 5 g L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub>Cl; 1 g L<sup>-1</sup> de MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 8 g L<sup>-1</sup> de CaHPO<sub>4</sub>; 30 g L<sup>-1</sup> de Ágar; pH 7,2), acrescido com 50 µg mL<sup>-1</sup> do fungicida Cercobim 700 Thiophanate Methyl. Posteriormente, as placas foram incubadas a 28°C, por 21 dias. A presença de um halo claro ao redor das colônias bacterianas indicou que estas solubilizaram fosfato.

### 3.3 DENSIDADE POPULACIONAL BACTERIANA

A população bacteriana foi quantificada seguindo metodologia proposta por Araújo *et al* (2014). Essa quantificação foi apresentada por unidades formadoras de colônia por grama de solo (UFC g<sup>-1</sup>), sendo estimada pela contagem de colônias cultivadas em meio sólido contendo fosfato inorgânico insolúvel.

### 3.4 SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO INORGÂNICO

Após identificação das bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico, foram selecionados 7 isolados bacterianos para ser testada, quantitativamente, sua capacidade de solubilizar fosfato inorgânico sob diferentes faixas de pH em relação ao tempo. Os isolados bacteriano foram inoculados em meio de cultura sólido contendo fosfato insolúvel (10 g L<sup>-1</sup> de glicose; 5 g L<sup>-1</sup> de NH<sub>4</sub>Cl; 1 g L<sup>-1</sup> de MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O; 8 g L<sup>-1</sup> de CaHPO<sub>4</sub>; 15 g L<sup>-1</sup> de Ágar) com pH 4,5 e 7,2 durante 12 dias sob temperatura média de 28°C, em triplicata. A presença de um halo claro em torno da colônia indicou a solubilização de fosfato inorgânico.

A cada 3 dias, foram medidos os diâmetros das colônias e dos halos com auxílio de um paquímetro digital para determinar o Índice de Solubilização (IS), definido pela razão entre o diâmetro médio do halo de solubilização e o diâmetro médio da colônia bacteriana (CHAGAS JÚNIOR, 2007; SANTOS, 2013).

$$IS = \frac{\text{Diâmetro do halo de solubilização (mm)}}{\text{Diâmetro da colônia bacteriana (mm)}}$$

Com base nos índices de solubilização, as bactérias foram classificadas como linhagens com baixa ( $IS < 2$ ), média ( $2 \leq IS < 4$ ) e alta solubilização ( $IS \geq 4$ ). Em relação ao início da solubilização, as bactérias foram classificadas como precoces, quando o início da solubilização se deu até o terceiro dia, e tardias, com início da solubilização depois do terceiro dia (HARA; OLIVEIRA, 2004; CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2010; COSTA *et al.*, 2013).

### 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

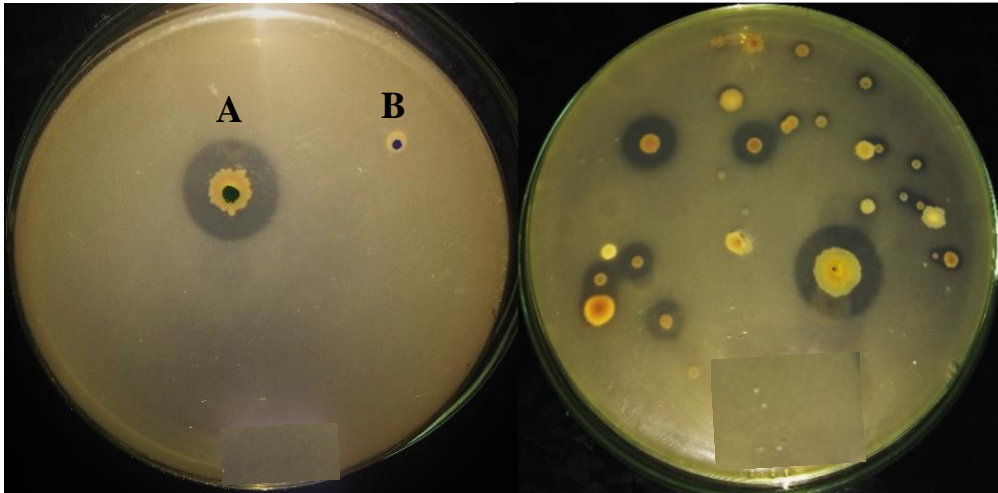
A análise de densidade populacional e o índice de solubilização foram submetidos à análise de variância (ANOVA) através do programa estatístico SISVAR 5.6<sup>®</sup>, a comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ISOLAMENTO BACTERIANO

No meio de cultura específico para bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico, cresceram bactérias capazes de solubilizar fosfato inorgânico e bactérias que não foram capazes de solubilizar fosfato inorgânico (Figura 1). Ao analisar a morfologia das colônias isoladas, verificou-se alguns distintos tipos morfológicos, como coloração branca, acinzentada e roseada, e aspecto gomoso e seco. Sendo que ocorreu um predomínio de colônias brancas e secas.

Figura 1 – Isolamento de bactérias do solo, pertencentes às áreas de agricultura, mata e pastagem, em meio seletivo contendo fosfato insolúvel. A: Bactéria solubilizadora de fosfato inorgânico; B: Bactéria não solubilizadora de fosfato inorgânico.

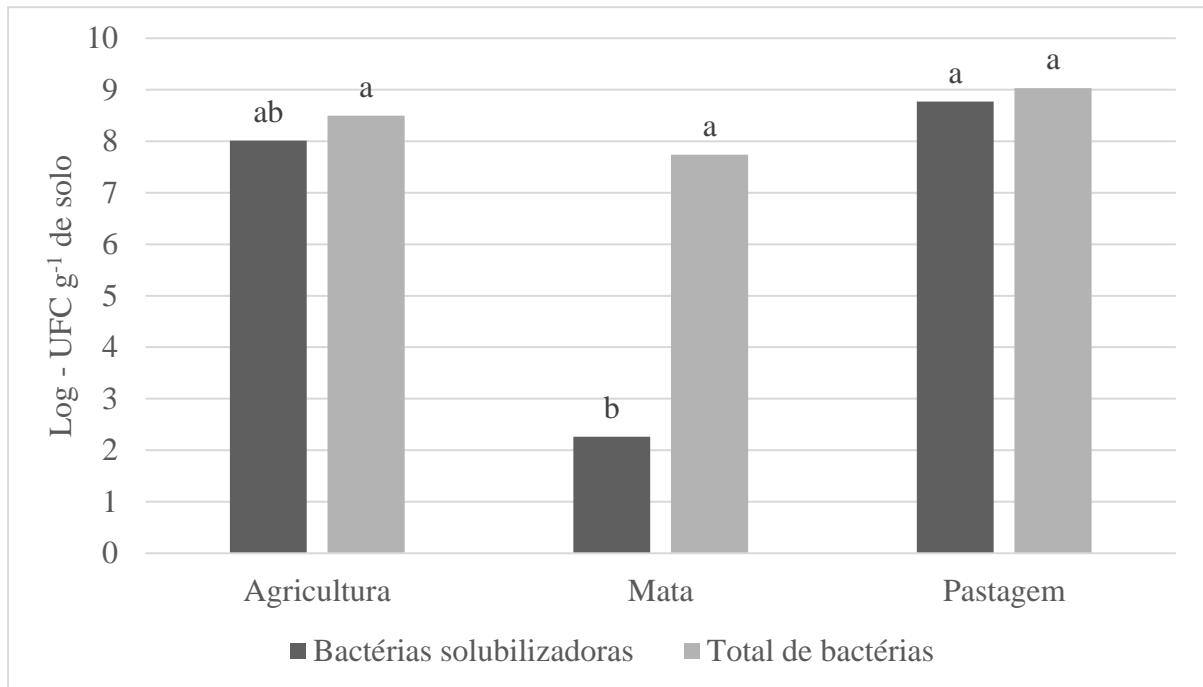


Fonte: Arquivo pessoal, 2019

### 4.2 DENSIDADE POPULACIONAL

A densidade populacional da comunidade bacteriana solubilizadora de fosfato inorgânico, isoladas em meio sólido contendo fosfato insolúvel, variou de  $2 \cdot 10^6$  (mata) a  $1 \cdot 10^9$  (pastagem) Unidades Formadoras de Colônia (UFC) por grama de solo. Não houve diferença significativa entre as áreas em relação ao total de bactérias. Entretanto, houve diferença significativa entre as áreas em relação a bactérias capazes de solubilizar fosfato inorgânico. A área de pastagem apresentou maior população bacteriana solubilizadora de fosfato inorgânico; enquanto a área de mata, menor (Figura 2).

Figura 2 – Densidade populacional estimada pelas unidades formadoras de colônia por grama de solo do total e de bactérias solubiladoras de fosfato inorgânico insolúvel de área de agricultura, mata e pastagem. Letras iguais não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Elaboração própria, 2019

### 4.3 SELEÇÃO E ISOLAMENTO

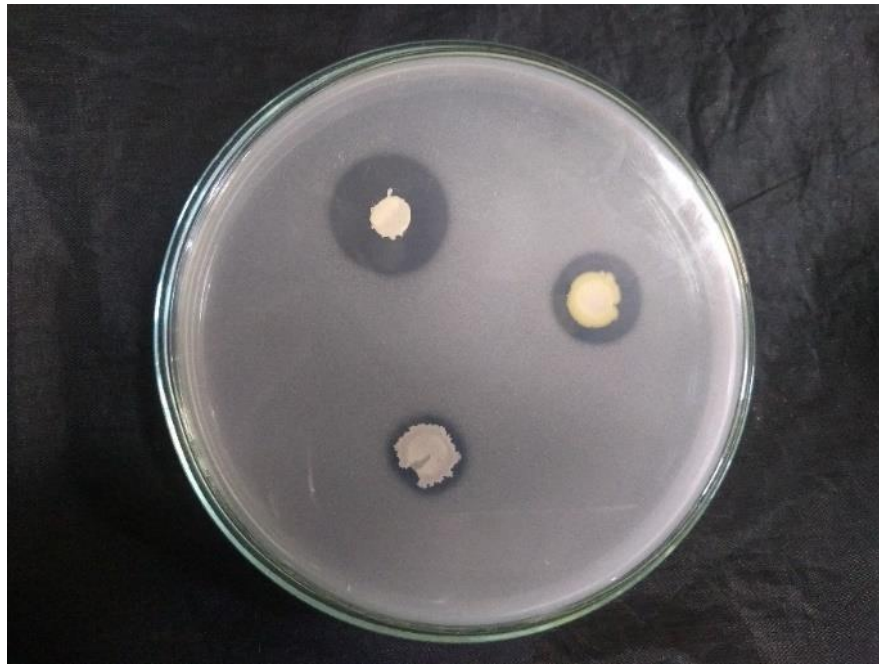
Foram selecionadas e isoladas 28 colônias bactérias solubiladoras de fosfato inorgânico, sendo 2 isolados provenientes da área da mata, 13 isolados oriundos da área da agricultura e 13 originados da área da pastagem. Das 28 colônias, 7 foram escolhidas para quantificar sua capacidade de solubilização, através do IS (Índice de Solubilização), de acordo com o halo de solubilização e morfologia, as colônias que apresentaram maior halo de solubilização e diferença na morfologia foram selecionadas.

### 4.4 ÍNDICE DE SOLUBILIZAÇÃO

Os resultados apresentados de IS dos isolados foram positivos (Figura 3), mas a eficiência de solubilização variou entre as estirpes.



Figura 3 – Teste positivo quanto à solubilização de fosfato inorgânico com a presença de halo de solubilização



Fonte: Arquivo pessoal, 2019

Na Tabela 3 e 4, observa-se que a maioria dos estipes apresentara baixa capacidade de solubilização, apenas o isolado AL-26 apresentou média capacidade de solubilização aos 12 dias de avaliação (IS = 3,20 em pH 4,5 e IS = 3,57 em pH 7,2). O pH influenciou no início de solubilização das linhagens AL-19 e AL-26, sendo que, em baixo pH (4,5), foram classificadas como tardias, pois a solubilização iniciou-se a partir do terceiro dia. Já em pH 7,2 as mesmas linhagens foram classificadas como precoces, já que a solubilização se iniciou antes do terceiro dia. Até a última leitura, apenas o isolado AL-18 não foi capaz de solubilizar fosfato inorgânico em meio fosfato com pH 4,5 (Tabela 3), no entanto, o mesmo foi capaz de solubilizar em pH 7,2 (Tabela 4).

Tabela 3 – Índice de solubilização de fosfato inorgânico (IS) de isolados bacterianos em meio fosfato com pH 4,5. Letras iguais não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). NS = Não Solubilizou.

Isolado Bacteriano	IS				Capacidade de Solubilização	Solubilização
	3º dia	6º dia	9º dia	12º dia		
AL-08	NS	1,45 ab	1,58 abc	1,76 ab	Baixa	Tardia
AL-10	1,43 a	1,84 a	1,86 ab	1,90 ab	Baixa	Precoce
AL-18	NS	NS	NS	NS	-	-
AL-19	NS	1,20 ab	1,28 abc	1,31 bc	Baixa	Tardia
AL-22	NS	NS	1,03 bc	1,07 bc	Baixa	Tardia
AL-26	NS	2,26 a	2,85 a	3,20 a	Média	Tardia
AL-28	0,54 a	1,48 ab	1,51 abc	1,55 bc	Baixa	Precoce

Fonte: Elaboração própria, 2019

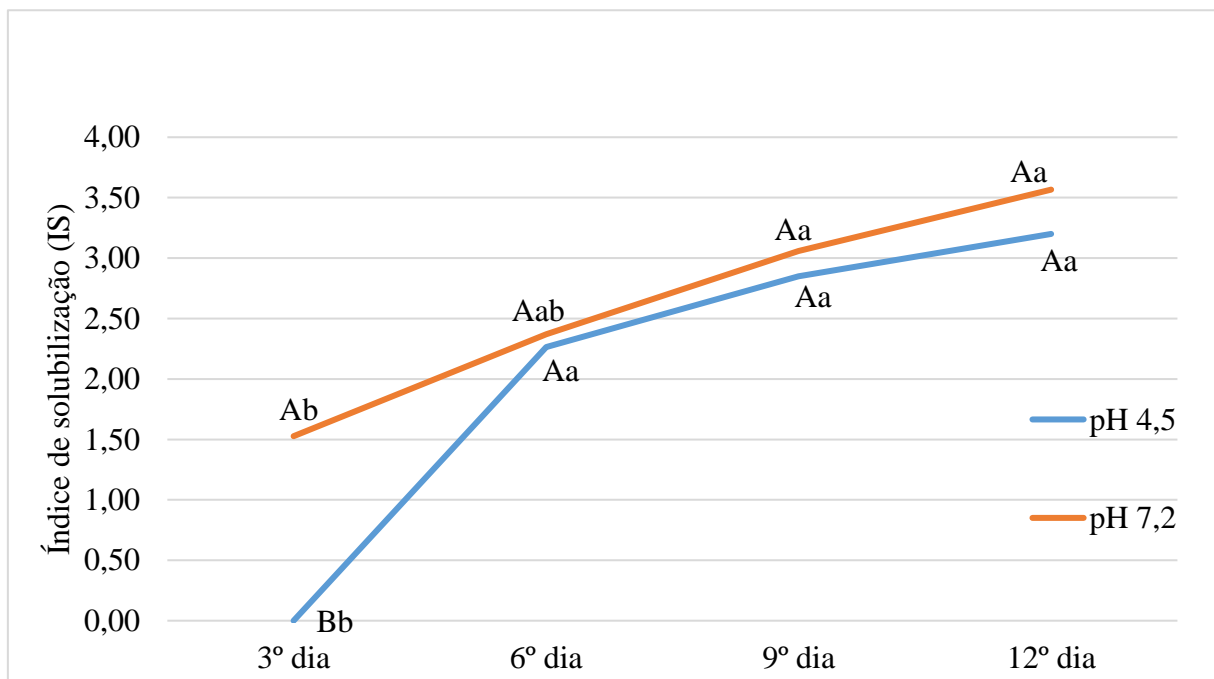
Tabela 4 – Índice de solubilização de fosfato inorgânico (IS) de isolados bacterianos em meio fosfato com pH 7,2. Letras iguais não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). NS = Não Solubilizou.

Isolado Bacteriano	IS				Capacidade de Solubilização	Solubilização
	3º dia	6º dia	9º dia	12º dia		
AL-08	NS	1,42 ab	1,48 ab	1,55 b	Baixa	Tardia
AL-10	1,36 a	1,60 ab	1,71ab	1,84 b	Baixa	Precoce
AL-18	NS	NS	1,10 b	1,25 b	Baixa	Tardia
AL-19	1,35 a	1,45 ab	1,57 ab	1,62 b	Baixa	Precoce
AL-22	NS	1,14 ab	1,20 b	1,19 b	Baixa	Tardia
AL-26	1,53 a	2,37 a	3,06 a	3,57 a	Média	Precoce
AL-28	0,46 a	0,52 b	1,36 b	1,52 b	Baixa	Precoce

Fonte: Elaboração própria, 2019

A estirpe AL-26 destacou-se em relação às demais na última leitura. Na Figura 4, verifica-se que ocorreu diferença significativa em relação ao pH apenas na primeira leitura. Em relação ao tempo, ocorreu diferença significativa apenas do 3º ao 6º dia, em pH 4,5 e do 3º ao 9º dia, em pH 7,2. Observa-se que a AL-26 apresenta expressiva solubilização em ambos os pHs. Dessa forma, a mesma pode apresentar bom desempenho tanto em solos ácidos como neutros.

Figura 4 – Solubilização de fosfato pelo isolado bacteriana AL-26 sob pHs 4,5 e 7,2 (letras maiúsculas) em relação ao tempo (letras minúsculas). Letras iguais não diferem entre si, de acordo com o Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Elaboração própria, 2019

## 5 DISCUSSÃO

Sobre a população de bactérias solubilizadora de fosfato inorgânico, houve diferença significativa entre a área preservada (mata) e a área antropizada (pastagem), essa diferença pode estar associada ao pH do solo, pois ocorreu uma relação diretamente proporcional entre o pH solo (Tabela 2) e a densidade populacional de bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico (Figura 2). Essa hipótese corrobora com Barroso e Oliveira (2001), que estudando a ocorrência de bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio nas raízes de plantas na Amazônia brasileira verificaram que essas bactérias são mais presentes em solos cultivados do que em vegetação nativa, devido principalmente ao fato de os solos cobertos por vegetação nativa são mais ácidos do que solos cultivados (TROEH; THOMPSON, 2007). No entanto, existem outros fatores, além do pH, que podem estar relacionados a essa diferença de população de bactérias solubilizadora de fosfato inorgânico, como a vegetação presente, o histórico de uso e manejo do solo, o teor de matéria orgânica, entre outros.

Em experimento realizado por Barroti e Nahas (2000), o aumento pH do solo, por meio da calagem, foi o único tratamento estatisticamente significativo que favoreceu o crescimento da população de bactérias solubilizadoras de fosfato, com aumento de 24,1% de UFC sobre os tratamentos que não receberam calagem. Para reforçar essa suposição, de acordo com Primavesi (2002), a influência do pH sobre as bactérias e outros microrganismos ativos na mobilização do fósforo é nítida, pois esses são aeróbicos contendo enzimas que necessitam de reações próximas a neutralidade.

A quantidade de fósforo orgânico no solo está diretamente relacionada ao teor de matéria orgânica. Cunha *et al.* (2007), em seu experimento, constatou que a reserva de fósforo orgânico (total e lábil) é maior em solos florestais do que nas pastagens. Nesse experimento, enquanto nas florestas a média de fósforo orgânico lábil foi responsável por 83% do fósforo total lábil, na pastagem essa porcentagem foi de apenas 59,3%. Portanto, evidenciando que, em solos ricos em matéria orgânica, a fração de fósforo orgânico tem maior importância na disponibilidade desse elemento para as plantas do que a fração de fósforo inorgânico.

Sendo assim, supõe-se que a diferença da população bacteriana solubilizadora de fosfato também pode estar relacionada ao teor de matéria orgânica que compõe os solos. Pois, em solos

com elevado teor de matéria orgânica, o processo de mineralização do fósforo é mais importante do que o de solubilização. Dessa forma, ocorrendo uma maior população de microrganismos mineralizadores em relação à população de solubilizadores.

Os resultados apresentados de IS dos isolados foram efetivos, entretanto, foi expressivo apenas para o isolado AL-26 (IS = 3,20 em pH 4,5 e IS = 3,57 em pH 7,2). Algo semelhante ocorreu com experimento realizado por Chagas Junior *et al.* (2010) que avaliando a capacidade de rizóbios solubilizadores de fosfato de cálcio isolados de solos da Amazônia observaram que apenas 1 dos 68 isolados apresentou IS expressivo (IS = 3,15) em meio fosfato com pH 6,5. Desses 68 isolados 51,5% foram classificados como precoces e 48,5%, como tardios.

No trabalho realizado por Costa *et al* (2013), obteve-se que das 18 estirpes solubilizadoras de fosfato, rizóbios isolados de nódulos de feijão-caupi, apenas 1 apresentou médio IS (2,02). 61% precoce e 39% tardia.

Resultados semelhantes, quanto à capacidade de solubilizar fosfatos, foram reportados por Hara e Oliveira (2004), nos quais os isolados de rizóbios estudados foram efetivos quanto à solubilização de P-Ca em laboratório, mas a eficiência de solubilização variou entre as estirpes.

## **6 CONCLUSÃO**

Em relação a bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico, a área de pastagem apresentou maior população, seguida da área de agricultura e mata. Dessa forma, a área nativa contém menor população de bactérias solubilizadoras de fosfato do que áreas antropizadas.

A maioria dos isolados apresentou baixa capacidade de solubilização, apenas o isolado AL-26 destacou-se, apresentando média capacidade de solubilizar. Podendo, posteriormente, ser mais explorado em experimentos para promoção de crescimento vegetal.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, C. S. *et al.* Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v.16, 2017.
- ALLEN, A. S. E SCHLESINGER, W. H. Nutrient limitations to soil microbial biomass and activity in loblolly pine forests. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 581-589. 2004.
- ANDREOTE, F. A.; GUMIERE, T.; DURRER, A. Exploring interactions of plant microbiomes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, p. 528-539, 2014.
- ARAÚJO *et al.* **Micro-organismos endofíticos: aspectos teóricos e práticos de isolamento e caracterização**. Santarém: UFOPA, 2014, 257 p.
- BALIAH, N. T.; PANDIARAJAN, G.; KUMAR, B. Isolation, identification and characterization of phosphate solubilizing bacteria from different crop soils of Srivilliputtur Taluk, Virudhunagar District, Tamil Nadu. **Tropical Ecology**, v. 57, n. 3, p. 465-474, 2016.
- BARROSO, C. B.; OLIVEIRA, L. A. Ocorrências de bactérias solubilizadoras de fosfato de cálcio nas raízes de plantas na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p. 575-581, 2001.
- BARROTI, G.; NAHAS, E. População microbiana total e solubilizadora de fosfato em solo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p.2043-2050, 2000.
- BATISTA, F. C. *et al.* **Potencial de microrganismos rizosféricos e endofíticos de milho em solubilizar o fosfato de ferro e produzir sideróforos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 166).
- CHAGAS JÚNIOR, A. F. **Características agronômicas e ecológicas de rizóbios isolados de solos ácidos e de baixa fertilidade da Amazônia**. 2007. 158 p. Tese (Doutorado em Biotecnologia para Agrofloresta) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2007.
- CHAGAS JÚNIOR, A. F. *at al.* Capacidade de solubilização de fosfatos e eficiência simbiótica de rizóbios isolados de solos da Amazônia. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 359-366, 2010.
- COSTA, E. M. *et al.* Promoção do crescimento vegetal e diversidade genética de bactérias isoladas de nódulos de feijão-caupi. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.48, n.9, p.1275-1284, 2013.
- COTTA, S. R. O solo como ambiente para a vida microbiana. 2016. *In*: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba, SP: ESALQ, 2016. 221 p.

CUNHA, G. M. *et al.* Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 667-672, 2007.

EMBRAPA. **Brasil adicionou 22,8 milhões de toneladas de fósforo em seus solos nos últimos 50 anos.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/33747073/brasil-adicionou-228-milhoes-de-toneladas-de-fosforo-em-seus-solos-nos-ultimos-50-anos>. Acesso em: 11 set. 2019a.

EMBRAPA. **Produto com tecnologia brasileira pode reverter dependência externa por adubos fosfatados.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/45773416/produto-com-tecnologia-brasileira-pode-reverter-dependencia-externa-por-adubos-fosfatados>. Acesso em: 19 set. 2019b.

FRAGA, M. E. *et al.* Interação microrganismo, solo e flora como condutores da diversidade na Mata Atlântica. **Acta Botânica Brasilica**. v. 26, p. 857-865. 2012.

GLICK, B. R. Introduction to plant growth-promotion bacteria. **Benficial Plant-Bacterial Interação**, v.1, p. 1-28, 2005.

GOLDSTEIN, A. H. Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical perspective and future prospects. **American Journal of Alternative Agriculture**, Greenbelt, v. 1, n. 2, p. 51-57, 1986.

GOMES *et al.* Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.1, p. 69-81, 2014.

GUIMARÃES, J. R. A.; STUDER, A.; TRIVELLATO, C. Educação Ambiental no entorno da Reserva Biológica de Pedra Talhada. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 6, p. 32-45, 2014.

HAMEEDA, B. *et al.* Growth promotion of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. **Microbiological Research**, Jena, v. 163, n. 2, p. 234-242, 2008.

HARA, F. A. S.; OLIVEIRA, L. A. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos e alcalinos de Presidente Figueiredo, Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 343-357, 2004.

HATTENSCHWILER, S.; TIUNOV, A. V.; SCHEU, S. Biodiversity and litter and decomposition terrestrial ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, Systematics** v. 36, p. 191-218, 2005.

HEIJDEN, M.G.A.; VAN DER; DARDGETT, R.D.; STRAALEN, N.M. The unseen majority: soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**. v. 11: p. 296-310, 2008.

INPI - INTERNACIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. **Fertilizantes**. Disponível em: <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>. Acesso em: 12 set. 2019.

INUI, R. N. **Isolamento e identificação de bactérias solubilizadoras de fósforo e produtoras de auxinas em solo com cana-de-açúcar**. 2009. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

KORNDÖRFER, K. H.; MELO, S. P. Fontes de fósforo (Fluída ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 92-97, 2009.

KUCEY, R. M. N.; JANZEN, H. H.; LEGGET, M. E. Microbially mediated increases in plant-available phosphorus. **Advances in Agronomy**, New York, v. 42, p. 199-228, 1989.

LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. **Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo**. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003. Piracicaba. *Anais [...]*. Piracicaba: POTAFOS, 2004.

MARTINHÃO, D.; SOUSA, G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do cerrado**. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003. Piracicaba. *Anais [...]* Piracicaba: POTAFOS, 2004.

MENDES, L. C.; REIS JUNIOR, F. B. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. (Documento 85).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Rebio de Pedra Talhada**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/porta1/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica/unidades-de-conservacao-mata-atlantica/2154-rebio-de-pedra-talhada>. Acesso em: 23 set. 2019.

OGBO, F. C. Conversion of cassava wastes for biofertilizer production using phosphate solubilizing fungi. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 11, p. 4120-4124, 2010.

OLIVEIRA, C. A. *et al.* Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, p. 1782-1787, 2009.

OLIVEIRA, J. T. C. **Caracterização fisiológica e genética de bactérias potencialmente diazotróficas associadas a capim braquiária**. 2012, 110 p. Dissertação (Mestrado em



Ciência Animal e Pastagem) – Unidade Acadêmica de Garanhuns / Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2012.

OLIVEIRA, J. T. C. **Contribuição de bactérias promotoras de crescimento de planta em *Brachiaria decumbens* Starf. Cultivadas em Pernambuco.** 2016, 117 p. Dissertação (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco / Universidade Federal da Paraíba / Universidade Federal do Ceará, Recife, 2016.

PAIVA, C. A. O. *et al.* **Inoculantes de microrganismos promotores de crescimento em milho: transferindo a diversidade do laboratório para o campo.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 227).

PAVINATO, P.S. *et al.* **Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency.** *Agronomy Journal*, v. 109, p. 1039-1047, 2017.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais.** São Paulo: Nobel, 2002.

RAIJI, B. V. **Fósforo no solo e interação com outros elementos.** *In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA*, 2003. Piracicaba. *Anais [...]* Piracicaba: POTAFOS, 2004.

RIBEIRO, V. P. *et al.* **Potencial Biotecnológico de Bactérias Endofíticas de Milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 132)

RICHARDSON, A. E. *et al.* Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. **Plant and Soil**, v. 321, p. 305-339, 2009.

RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 989-996, 2011.

RODRIGUES, R. B. *et al.* Opção de troca de produto na indústria de fertilizantes. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 50, n. 2, p. 129-140, 2015.

SANTOS, I. B. **Bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico associadas a plantas de cana-de-açúcar: isolamento, variabilidade genética e potencial biotecnológico.** 2013. 71p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2013.

SIQUEIRA, J. O.; ANDRADE, A. T.; FAQUIM, V. **O papel dos microrganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas.** *In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO*

NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003. Piracicaba. *Anais [...]* Piracicaba: POTAFOS, 2004.

SOUSA, M. C., E. *et al.* **Histórico da Reserva Biológica de Pedra Talhada**. In: STUDER, A.; NUSBAUMER, L.; SPICHIGER, R. Biodiversidade da Reserva Biológica de Pedra Talhada (Alagoas, Pernambuco - Brasil). Boissiera, v. 68, p. 765-778, 2015.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. **Fósforo – essencial para a vida**. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003. Piracicaba. *Anais [...]* Piracicaba: POTAFOS, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Guanabara Koogan. 2013. 918 p.

TROEH, F. R.; TROMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. 6 ed. São Paulo: Andrei, 2007. 718 p.

TSCHARNER, T. *et al.* **Parâmetros abióticos da Reserva Biológica de Pedra Talhada**. In: STUDER, A.; NUSBAUMER, L.; SPICHIGER, R. Biodiversidade da Reserva Biológica de Pedra Talhada (Alagoas, Pernambuco - Brasil). Boissiera v. 68, p. 39-57, 2015.

VASSILEV, N. *et al.* Biotechnological tools for enhancing microbial solubilization of insoluble inorganic phosphates. **Geomicrobiology Journal**, v. 31, p. 751-763, 2014.

VASSILEV, N. *et al.* **Novel approaches in phosphate-fertilizer production based on wastes derived from rock phosphate mining and food processing industry**. In: SAMUELSON, J.P. Industrial waste: environmental impact, disposal and treatment. , New York: Nova SciPubl, 2009, p. 387–391.

VASSILEVA, M. *et al.* Multifunctional properties of phosphate-solubilizing microorganisms grown on agro-industrial wastes in fermentation and soil conditions. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 85, n. 5, p. 1287-1299, 2010.

YOUNG, L. S. *et al.* Endophytic establishment of the soil isolate Burkholderia sp. CC-A174 enhances growth and P-utilization rate in maize (*Zea mays* L.). **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 66, p. 40-47, 2013.