IV CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS COINTER - PDVAgro 2019

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

BACTERIAS SOLUBILIZANTES DE FOSFATO INORGÁNICO EN SUELO PRESERVADO Y ANTROPIZADO DE LA RESERVA BIOLOGICA DE PEDRA TALHADA – AL

INORGANIC PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA IN PRESERVED AND ANTHROPIZED SOIL OF THE BIOLOGICAL RESERVE AT PEDRA TALHADA – AL

Apresentação: Comunicação Oral

José Maciel Mariano da Silva¹; Erivaldo Lopes Isidio²; Everlaine Leopoldino Dias Silva³
Anderson Silva de Carvalho⁴; Júlia Kuklinsky-Sobral⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0171>

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

¹ Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE-UAG), jmaciel_mariano@outlook.com

² Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE-UAG), erivaldo.lopes12@gmail.com

³ Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE-UAG), everlaineldias@gmail.com

⁴ Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE-UAG), anderson_carvalho18@hotmail.com

⁵ Prof.ª, Dr.ª em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE-UAG), jksobral@yahoo.com.br

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⁻¹). Foi observado que a densidade populacional bacteriana solubilizadora de fosfato inorgânico variou de 2·10⁶ (mata) a 1·10⁹ (pastagem) UFC g⁻¹. 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. Apesar das bactérias terem sido isoladas em meio específico, contendo fosfato insolúvel, verificou-se uma alta densidade populacional em ambas as áreas. Sendo assim, conclui-se que a população de bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico varia de acordo com a cobertura do solo.

Palavras-Chave: microrganismos, fósforo, Mata Atlântica, pastagem, agricultura.

Resumen

En general, los suelos de las regiones tropicales y húmedas son bastante intemperados y ácidos, presentando una alta capacidad máxima de adsorción de fósforo debido a la alta afinidad de este elemento con hierro, aluminio y calcio. Debido a esto, la aplicación de fertilizantes de fosfato tiene baja eficiencia, alrededor de 10 a 25%. Los microorganismos presentes en el suelo tienen un papel de extrema relevancia en la disponibilidad de fósforo para las plantas. Estos microorganismos, principalmente bacterias y hongos, presentan dos mecanismos de liberación de fósforo para la solución del suelo: reacciones de solubilización de fósforo inorgánico y mineralización del fósforo orgánico. En este sentido, la inoculación y mantenimiento de tales seres es de suma importancia para reemplazar o disminuir el uso de fertilizantes solubles de fosfato, mejorando la utilización de los fosfatos naturales existentes o añadidos al suelo y la aplicación de fuentes solubles. Contribuyendo así a reducir la dependencia de los fertilizantes importados, los costos de la producción agrícola y también los impactos ambientales. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo era evaluar la comunidad bacteriana de fosfato inorgánico solubilizador en suelos al cubierto de la agricultura, bosques nativos y pastos de la Reserva Biológica Pedra Talhada ubicada en Quebrangulo – AL. Aislamiento Bacterial se realizó en un medio de cultivo específico de las bacterias solubilizantes de fosfato inorgánico. La estimación de la población bacteriana total fue cuantificada por unidades formadoras de colonias por gramo de suelo (UFC g⁻¹). Se observó que la densidad de población bacteriana solubilizante del fosfato inorgánico oscilaba entre 2·10⁶ (mata) y 1·10⁹ (pasto) UFC g⁻¹. No hubo diferencia significativa entre las áreas en relación con el número total de bacterias. Sin embargo, hubo una diferencia significativa entre las áreas en relación con las bacterias capaces de solubilizar el fosfato inorgánico y los no solubilizantes. El área de pastos tenía una población bacteriana solubilizante de fosfato inorgánico más alta; mientras el área mata, más pequeña. Aunque las bacterias se aislaron en un medio específico que contenía fosfato insoluble, había una alta densidad de población en ambas áreas. Por lo tanto, se concluye que la población de bacterias inorgánicas de fosfato-solubilizantes varía según la cubierta del suelo.

Palabras Clave: microrganismos, fósforo, Bosque Atlántico, pastos, 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⁻¹). It was observed that the bacterial population density solubilizing of inorganic phosphate ranged from 2·10⁶ (forest) to 1·10⁹ (pasture) UFC g⁻¹. There was no significant difference between the areas in relation to the total number of 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 had a higher inorganic phosphate solubilizing bacterial population; while the area kills, smaller. Although the bacteria were isolated in a specific medium containing insoluble phosphate, there was a high population density in both areas. Thus, it is concluded that the population of inorganic phosphate-solubilizing bacteria varies according to soil cover.

Keywords: microorganisms, phosphorus, Atlantic Forest, grassland, agriculture

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 (FePO₄·2H₂O), e alumínio, formando o mineral variscita (AlPO₄·2H₂O), 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 (CaHPO₄),

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 o 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; 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; JUNIOR, 2003). Já os mineralizadores liberam o fósforo orgânico de resíduos orgânicos e presente 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.

Fundamentação Teórica

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 a 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; 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, cerca de 35% do consumo aparente de fertilizantes foram de fosfatados (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.

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 tem relevância na busca pela conservação ambiental aliada a agricultura sustentável. Microrganismos solubilizadores de fosfatos e o manejo de suas populações tem sido sugerido como 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).

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).

Neste aspecto, a microbiota do solo e associada as plantas em ambientes nativos apresenta composição genética e fisiológica diversa. A diversidade de espécies que compõe a serrapilheira e espécies decompositoras podem influenciar significativamente a decomposição, nutrientes e mineralização do solo e têm efeitos na promoção de crescimento vegetal, composição da comunidade e o funcionamento dos ecossistemas (HATTENSCHWILER et al., 2005; FRAGA et al., 2012). Os microrganismos têm um grande impacto na produtividade dos vegetais. 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 a 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).

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.

Metodologia

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), na Reserva Biológica de Pedra Talhada, localizada 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, típica 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, mais recebeu aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais. 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 contém uma amostra composta.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e levadas ao Laboratório de Genética e Biotecnologia Microbiana da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Em seguida foi separado parte das amostras para análise microbiológica no local e a outra parte foi encaminhada para análise física, no Laboratório de Física do Solo da Unidade Acadêmica de Garanhuns da Universidade Federal Rural de Pernambuco, e análise química, realizada em laboratório particular.

Isolamento bacteriano do solo

O isolamento bacteriano foi realizado seguindo metodologia de Santos (2013), com algumas modificações. Para o isolamento 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 ($1,44 \text{ g L}^{-1}$ de Na_2HPO_4 ; $0,24 \text{ g L}^{-1}$ de KH_2PO_4 ; $0,20 \text{ g L}^{-1}$ de KCl ; $8,00 \text{ g L}^{-1}$ 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^{-5} e 10^{-7}) 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^{-1} de glicose; 5 g L^{-1} de NH_4Cl ; 1 g L^{-1} de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 8 g L^{-1} de CaHPO_4 ; 30 g L^{-1} de Ágar; pH 7,2), acrescido com $50 \mu\text{g mL}^{-1}$ do fungicida Cercobim 700 Thiophanate Methyl, por amostra. Posteriormente as placas foram incubadas a 28°C , por 21 dias. Com a presença de um halo claro ao redor das colônias bacterianas indicou que estas solubilizaram fosfato.

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^{-1}), sendo estimada pela contagem de colônias cultivadas em meio sólido contendo fosfato inorgânico insolúvel.

Análise estatística

A análise de densidade populacional foi submetida à análise de variância (ANOVA) através do programa estatístico SISVAR 5.6®, a comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados e Discussão

De acordo com a análise física do solo (Tabela 1), o solo da área da agricultura foi classificado como franco arenoso, enquanto os solos das áreas da mata e da pastagem são tidos como franco argiloso arenoso de acordo com o teste do triângulo textural. Em relação à análise química (Figura 2), destacam-se o baixo pH presente em todos os solos e a baixa fertilidade de maneira geral.

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: Laboratório de Física do Solo UFRPE-UAG. Elaboração: Própria (2019)

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

Área	pH (CaCl ₂)	Análises Químicas							Mat. Org. g Kg ⁻¹
		P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	Al+H	CTC	
			-----cmol _c dm ⁻³ -----						
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: Terra Análises Para Agropecuária Ltda. Elaboração: Própria (2019)

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).

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: Própria (2019)

A densidade populacional da comunidade bacteriana solubilizadora de fosfato inorgânico (Figura 2), isoladas em meio sólido contendo fosfato insolúvel, variou de $2 \cdot 10^6$ (mata) a $1 \cdot 10^9$ (pastagem) bactérias 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: 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 ($p < 0,05$).

Fonte: Própria (2019)

Sobre a população de bactérias solubilizadora de fosfato inorgânico, houve diferença significativa entre a área preservada (mata) e as áreas antropizadas (agricultura e 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), 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).

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 a 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 está 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 mineralizados em relação à população de solubilizadores.

Conclusões

Apesar das linhagens bacterianas serem isoladas em meio específico contendo fosfato insolúvel, verificou-se uma alta população total de bactérias em ambas as áreas.

Em relação a bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico, a área de pastagem apresentou maior população, seguida da área de agricultura e mata.

Referências

ABREU, C. S. et al. **Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers.** Genetics and Molecular Research, 2017.

ALLEN, A. S. E SCHLESINGER, W. H. **Nutrient limitations to soil microbial biomass and activity in loblolly pine forests.** Soil Biology and Biochemistry, 36, 581-589. 2004.

ANDREOTE, F. A.; GUMIERE, T.; DURRER, A. **Exploring interactions of plant microbiomes.** Scientia Agricola, v. 71, p. 528-539, 20014.

ARAÚJO, W. L. et al. **Micro-organismos Endofíticos: aspectos teóricos e práticos de isolamento e caracterização.** Santarém, p. 257, 2014.

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.

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, núm. 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 de 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 de 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**. Beneficial 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, E. A. et al. **Rock phosphate solubilizing micoorganisms 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.

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.; STRAALLEN, 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 de 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 (Mestre em

Agronomia) - Universidade Estadual Paulista / Faculdade De Ciências Agrárias E Veterinárias, Jaboticabal.

KORNDÖRFER, K. H.; MELO, S. P. **Fontes de fósforo (Fluída ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar.** Ciência e Agrotecnologia, 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. p. 14.

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. p. 158.

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

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) / INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Rebio de Pedra Talhada.** Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica/unidades-de-conservacao-mata-atlantica/2154-rebio-de-pedra-talhada>> Acesso em: 23 de 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.

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

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. p. 109.

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. Monografia (Graduação em Agronomia) – Unidade Acadêmica de Garanhuns/ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns.

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. p. 158.

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. p. 1.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 5ª ed. Editora Guanabara Koogan. Porto Alegre. p. 454-460. 2013.

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 JP (ed) Industrial waste: environmental impact, disposal and treatment. Nova SciPubl, New York, p. 387–391, 2009.

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.