

**CARACTERIZAÇÃO
MOLECULAR DE
BACTÉRIAS ENDOFÍTICAS
DE BANANEIRA “PRATA-
ANÃ” PARA A
SOLUBILIZAÇÃO DE
FÓSFORO**

MOLECULAR CHARACTERIZATION OF ENDOPHYTIC BACTERIA FROM
‘PRATA-ANÃ’ BANANA PLANTS FOR PHOSPHORUS SOLUBILIZATION

Ciências Agrárias • 09/09/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/788908001](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/788908001)

Luanna Vanessa de Souza Cangussú

Wellington Silva Gomes

Allynson Takehiro Fujita

Micheli Cristiani Aiello Basso

Tarsis de Paula Rodrigues

Karla Cristina de Melo Alves

Elton da Silva Bicalho

Samy Pimenta

RESUMO

O fósforo (P) é um nutriente essencial às plantas, mas sua disponibilidade em muitos solos é limitada por processos de adsorção e precipitação. Bactérias endofíticas solubilizadoras de fosfato apresentam potencial para ampliar a disponibilidade de P e integrar estratégias de manejo mais eficiente de fertilizantes. Este estudo teve como objetivo caracterizar molecularmente 40 isolados de bactérias endofíticas obtidos de raízes de bananeira “Prata-Anã”, avaliando, por reação em cadeia da polimerase (PCR), a presença dos genes *gabY* e *mps* associados, no desenho experimental original, à solubilização de fosfato. O DNA genômico foi extraído de isolados Gram-positivos e Gram-negativos e submetido à amplificação com primers específicos. Apenas o par de primers direcionado a *gabY* produziu amplicons, com tamanho aproximado de 3000 pb. Vinte isolados (50%) apresentaram amplificação para *gabY*, enquanto nenhum dos 40 isolados apresentou amplificação para *mps*. Os isolados positivos incluíram principalmente representantes de *Bacillus*, além de *Agrobacterium*, *Streptomyces*, *Lysinibacillus* e *Micrococcus*. A interpretação dos resultados deve ser feita como evidência de potencial genético associado à solubilização, e não como demonstração direta de atividade funcional, uma vez que a presença de um gene não assegura sua expressão. Estudos recentes também indicam que marcadores do sistema *pqq*, especialmente *pqqC*, podem complementar a prospecção molecular de bactérias solubilizadoras de fosfato. Os resultados reforçam o potencial biotecnológico dos isolados endofíticos da bananeira e justificam avaliações fenotípicas e genômicas adicionais para seleção de candidatos a inoculantes.

Palavras-chave: bactérias endofíticas; solubilização de fosfato; fósforo; PCR; *gabY*; *mps*; bananeira.

ABSTRACT

Phosphorus (P) is an essential plant nutrient, but its availability in many soils is limited by adsorption and precipitation processes. Phosphate-solubilizing endophytic bacteria may increase P availability and contribute to more efficient fertilizer management strategies. This study aimed to molecularly characterize 40 endophytic bacterial isolates obtained from “Prata-Anã” banana roots by polymerase chain reaction (PCR), evaluating the presence of *gabY* and *mps* genes associated, in the original experimental design, with phosphate solubilization. Genomic DNA was extracted from Gram-positive and Gram-negative isolates and amplified with specific primers. Only the *gabY* primer pair produced amplicons, with an approximate size of 3000 bp. Twenty isolates (50%) showed *gabY* amplification, whereas none of the 40 isolates showed *mps* amplification. Positive isolates included mainly *Bacillus* representatives, as well as *Agrobacterium*, *Streptomyces*, *Lysinibacillus* and *Micrococcus*. The results should be interpreted as evidence of genetic potential associated with phosphate solubilization rather than direct proof of functional activity, because the presence of a gene does not guarantee its expression. Recent studies also indicate that *pqq*-system markers, particularly *pqqC*, can complement molecular screening of phosphate-solubilizing bacteria. These findings reinforce the biotechnological potential of banana endophytic isolates and support further phenotypic and genomic evaluations for selecting inoculant candidates.

Keywords: endophytic bacteria; phosphate solubilization; phosphorus; PCR; *gabY*; *mps*; banana.

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um macronutriente essencial ao crescimento vegetal e participa de processos relacionados ao metabolismo energético, à estrutura celular e à transferência de informação genética. Entretanto, a fração imediatamente disponível às plantas representa apenas uma parcela do P total do solo, porque o elemento pode ser retido por minerais e matéria orgânica ou convertido em formas de baixa solubilidade. Essa limitação tem relevância agronômica e ambiental, pois o aumento do uso de fertilizantes fosfatados não implica necessariamente aumento proporcional da eficiência de aquisição do nutriente pelas plantas. Cheng et al. (2023) discutem que a eficiência de aquisição de P pode ser reduzida pelo uso excessivo de fertilizantes, enquanto bactérias solubilizadoras de fosfato podem contribuir para a disponibilização de formas pouco acessíveis.

A solubilização microbiana de fosfatos ocorre por diferentes mecanismos, incluindo a produção de ácidos orgânicos, a atividade de fosfatases e alterações no microambiente químico. Revisões recentes destacam que a eficiência do processo depende da fisiologia bacteriana, das características do substrato fosfatado e das interações com solo e planta. Pan e Cai (2023) apontam ainda que a solubilização de fosfato é uma característica multifatorial e que diferentes vias metabólicas podem atuar simultaneamente.

As bactérias endofíticas constituem um grupo particularmente interessante porque colonizam tecidos vegetais internos e podem apresentar características relacionadas à promoção do crescimento. Em bananeira, estudos anteriores com 40 isolados provenientes de raízes demonstraram ampla diversidade funcional, indicando que a microbiota endofítica dessa cultura constitui fonte relevante para prospecção biotecnológica. Andrade et al. (2014) No mesmo

conjunto de isolados utilizado no presente estudo, Matos et al. (2017) observaram que aproximadamente 67,5% apresentaram capacidade de solubilizar fosfato tricálcico em meio sólido, reforçando a relevância desse material biológico para estudos sobre metabolismo do P.

A caracterização molecular pode complementar os ensaios fenotípicos ao permitir a investigação de genes associados a mecanismos de solubilização. No entanto, a literatura recente mostra que a simples detecção de um marcador genético deve ser interpretada com cautela. Chen et al. (2024), ao analisar genomas de 76 bactérias solubilizadoras de fosfato, identificaram o agrupamento pqq, especialmente pqqC, como marcador promissor relacionado à produção de metabólitos envolvidos na solubilização. Assim, a prospecção de genes individuais deve ser integrada a análises funcionais e, quando possível, a abordagens genômicas mais abrangentes.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar molecularmente 40 isolados de bactérias endofíticas obtidos de raízes de bananeira “Prata-Anã”, avaliando a presença dos genes gabY e mps por PCR, e discutir o significado desses marcadores à luz da literatura científica mais recente.

MATERIAL E MÉTODOS

Material Biológico

Foram utilizados 40 isolados de bactérias endofíticas provenientes de raízes de bananeira “Prata-Anã”, previamente isolados e caracterizados. Os isolados foram coletados no Norte de Minas Gerais e no município de Guanambi, Bahia. A identificação

taxonômica disponível no trabalho original foi baseada em sequências e respectivos números de acesso no GenBank. O conjunto apresentou predominância de representantes do gênero *Bacillus*, além de *Agrobacterium*, *Streptomyces*, *Lysinibacillus*, *Micrococcus*, *Rhizobium*, *Acetobacter*, *Aneurinibacillus* e outros táxons relacionados.

Preparo das Suspensões e Extração do DNA

Cada isolado foi repicado em 70 mL de meio Trypticase Soy Broth (TSB), utilizando-se 100 µL da suspensão bacteriana. As culturas foram incubadas a 25 °C e 120 rpm por 24 h. Para extração do DNA genômico foi utilizado kit comercial HiPurA™ para DNA genômico bacteriano, seguindo o protocolo descrito no trabalho original. Para isolados Gram-negativos, o pellet celular foi submetido a lise com solução de lise e proteinase K. Para Gram-positivos, foi empregada etapa adicional com lisozima antes da lise com proteinase K. O DNA foi purificado em coluna de centrifugação, eluído em tampão e armazenado sob congelamento.

Avaliação da Qualidade e Quantificação do DNA

A integridade do DNA foi verificada por eletroforese em gel de agarose a 1,2%, em tampão TBE 1X. A quantificação foi realizada por espectrofotometria em 260 e 280 nm, e as amostras foram ajustadas para 10 ng µL⁻¹ antes da PCR.

AMPLIFICAÇÃO DOS GENES GABY E MPS

As amostras foram submetidas às reações de amplificação compostas das seguintes concentrações finais: 1,2 µL de dNTPs (2 mM de cada), 0,4 µL de Taq DNA polimerase (5 U µL⁻¹), 2,5 µL de DNA

(10 ng), 1,5 µL de tampão 10X, 1 µL de MgCl₂ (50 mM), 1 µL de cada primer (5 Mm), 6,4 µL de água ultrapura, com volume final de 15 µL. As amplificações foram efetuadas em termociclador empregando-se um programa sob as seguintes condições: desnaturação a 94°C por 2 min, 30 ciclos de 94°C por 30 seg, 52°C por 30 seg e 72°C por 30 seg, e elongação final de 72°C por 5 min.

Os produtos resultantes das amplificações foram separados por eletroforese em gel de agarose (1,2%) e corados em solução de brometo de etídeo por um período de 20 minutos. Os fragmentos amplificados foram visualizados sob luz ultravioleta e fotografados em sistema digital UVP Life Science Software.

Foram testados o par de primers *gabY* 1F (5'-CTGCAGATCTGGCTGAAC-3') e *gabY* 1R (5'-AGTTCGAGATCGTCGTGA-3') e o par de primers *mps* 1F (5'-CTAATCTGCTGTTTGTACACG-3') e *mps* 1R (5'-AGTTCGAGATCGTCGTGA-3') em quarenta isolados de bactérias endofíticas. A análise foi realizada por visualização direta em gel de agarose detectando a presença ou ausência da banda correspondente ao primer, com auxílio de marcador de peso molecular de 100 pb.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram testados inicialmente nos isolados bacterianos dois pares de *primers*, o par *mps* 1F (5'-CTAATCTGCTGTTTGTACACG-3') e *mps* 1R (5'-AGTTCGAGATCGTCGTGA-3') e o par *gabY* 1F (5'-CTGCAGATCTGGCTGAAC-3') e *gabY* 1R (5'-AGTTCGAGATCGTCGTGA-3'). Porém, somente o par de *primers gabY* 1F e *gabY* 1R gerou produto de amplificação, de peso molecular de aproximadamente 3000 pb (Figura 1).

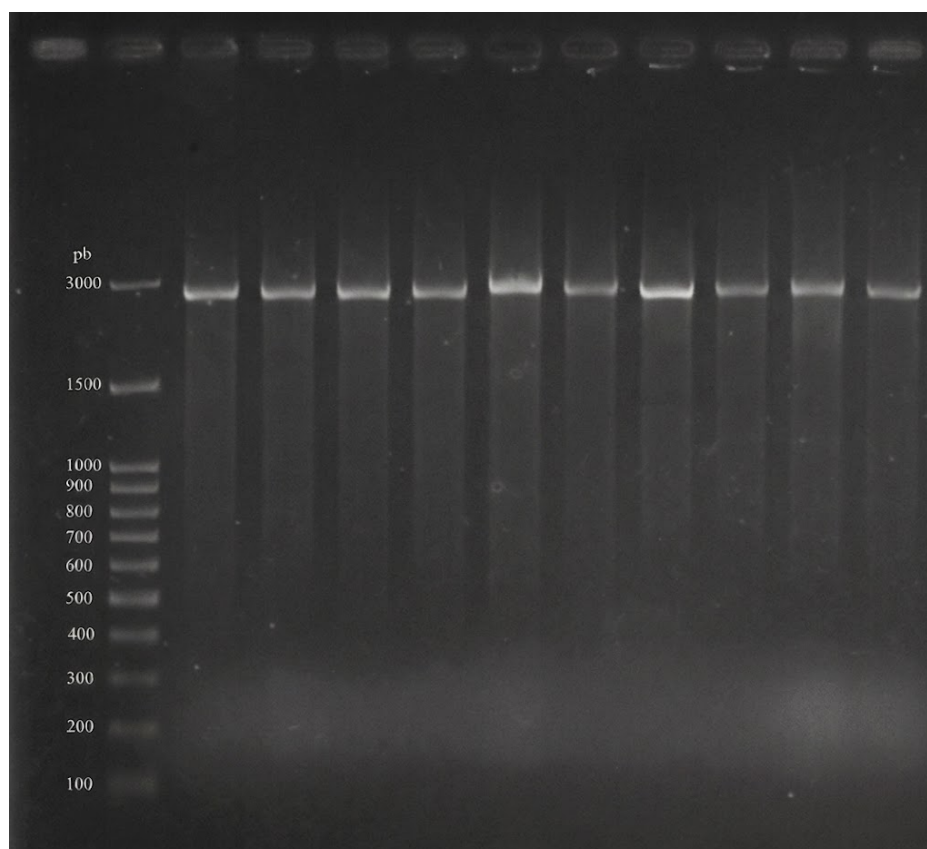


FIGURA 1. Produto da amplificação de isolados de bactérias endofíticas, extraídas de bananeira “Prata-Anã”, utilizando o par de primer *gabY* (1F) e *gabY* (1R), com produto de amplificação de peso molecular de aproximadamente 3000 pb, em gel de agarose 1,2% e tampão TBE 1X.

Dos 40 isolados bacterianos avaliados, 20 apresentaram produto de amplificação para o gene *gabY*, correspondendo a 50% dos isolados analisados. Os isolados positivos foram: EB.01 (*Bacillus pumilus*), EB.03 (*Bacillus pumilus*), EB.05 (*Bacillus pumilus*), EB.06 (*Bacillus subtilis*), EB.07 (*Agrobacterium tumefaciens*), EB.11 (*Bacillus* sp.), EB.12 (*Bacillus pumilus*), EB.14 (*Bacillus pumilus*), EB.16 (*Bacillus* sp.), EB.17 (*Bacillus* sp.), EB.18 (*Bacillus* sp.), EB.20 (*Bacillus* sp.), EB.33 (*Bacillus* sp.), EB.39 (*Streptomyces* sp.), EB.42 (*Bacillus* sp.), EB.45 (*Lysinibacillus sphaericus*), EB.61 (*Bacillus* sp.), EB.97 (*Bacillus amyloliquefaciens*), EB.98 (*Micrococcus luteus*) e EB.102 (*Bacillus pumilus*).

A detecção do gene *gabY* em metade dos isolados indica que uma parcela expressiva do conjunto avaliado apresenta sequência

reconhecida pelos primers utilizados. O gene *gabY* está relacionado à produção de ácido glucônico, metabólito que pode contribuir para a solubilização de fosfatos minerais (Babu-Khan et al., 1995). Dessa forma, os isolados positivos podem ser considerados candidatos para estudos posteriores relacionados ao potencial de solubilização de fósforo. Entretanto, a detecção molecular do gene deve ser interpretada como indicativa de potencial metabólico, e não como evidência definitiva de atividade funcional.

Essa distinção é importante porque a solubilização de fosfato constitui um processo biologicamente complexo, que pode envolver diferentes mecanismos e conjuntos de genes. Liu et al. (1992), por exemplo, demonstraram que a expressão de *gabY* esteve associada à produção de ácido glucônico e à solubilização de fosfato mineral em *Escherichia coli*. Além dessa via, outros mecanismos, incluindo a produção de diferentes ácidos orgânicos, a atividade de fosfatases e sistemas de transporte de fosfato, podem contribuir para a disponibilização desse nutriente para as plantas.

A associação entre a presença de *gabY* e o potencial de solubilização também encontra respaldo na literatura sobre bactérias promotoras do crescimento vegetal. Rodriguez e Fraga (1999) destacam os gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Rhizobium* entre os principais grupos bacterianos associados à solubilização de fosfato. De forma semelhante, Santos e Varavallo (2011) relatam que bactérias endofíticas pertencentes aos gêneros *Acinetobacter*, *Actinomyces*, *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Xanthomonas*, entre outros, podem contribuir para a promoção do crescimento vegetal por meio da disponibilização de nutrientes.

No presente estudo, observou-se predominância de isolados do gênero *Bacillus* entre aqueles que apresentaram amplificação para *gabY*. Dos 28 isolados pertencentes a esse gênero avaliados, 57% apresentaram produto de amplificação. Esse resultado é particularmente relevante, considerando a frequência com que espécies de *Bacillus* são descritas como bactérias promotoras do crescimento vegetal e capazes de solubilizar fosfatos. Hameeda et al. (2008), por exemplo, observaram a capacidade de solubilização de fosfato em bactérias do gênero *Bacillus* associadas à promoção do crescimento do milho.

A comparação dos resultados moleculares obtidos neste estudo com os resultados fenotípicos descritos por Matos et al. (2017), utilizando os mesmos 40 isolados bacterianos, permite uma interpretação mais consistente do potencial de solubilização de fósforo. No estudo de Matos et al. (2017), 67,5% dos isolados apresentaram capacidade de solubilizar fosfato tricálcico em meio sólido, embora a intensidade da solubilização tenha variado entre os isolados.

Entre os isolados analisados, EB.01, EB.03, EB.05, EB.07, EB.11, EB.12, EB.16, EB.17, EB.18, EB.20, EB.39, EB.42, EB.61, EB.97, EB.98 e EB.102 apresentaram o gene *gabY* e também demonstraram capacidade de solubilizar fósforo *in vitro*. Essa concordância entre o marcador molecular e o fenótipo reforça a possibilidade de participação da via metabólica associada ao *gabY* nesses isolados.

Por outro lado, os isolados EB.06, EB.14, EB.33 e EB.45 apresentaram amplificação para *gabY*, mas não demonstraram capacidade de solubilização de fósforo *in vitro*. Esse resultado evidencia que a simples presença do gene não garante, necessariamente, a

expressão da característica fenotípica. A atividade funcional pode depender da expressão gênica, das condições ambientais e da interação entre diferentes vias metabólicas.

Da mesma forma, os isolados EB.78, EB.80, EB.81, EB.83, EB.84, EB.108, EB.135, EB.139, EB.141 e EB.148 apresentaram capacidade de solubilizar fósforo *in vitro*, embora não tenham apresentado amplificação para *gabY*. Esse resultado demonstra que a solubilização de fosfato não está condicionada exclusivamente à presença desse gene, podendo ocorrer por meio de outras vias metabólicas.

Portanto, a comparação entre os resultados moleculares e fenotípicos indica que a presença de *gabY* pode ser utilizada como marcador de potencial associado à solubilização de fosfato, mas não deve ser considerada um marcador único ou definitivo dessa característica. A ausência de amplificação também não permite concluir que o isolado seja incapaz de solubilizar fósforo, uma vez que diferentes genes e mecanismos podem estar envolvidos nesse processo.

Essa interpretação é coerente com estudos que demonstram a complexidade genética e metabólica da solubilização de fosfato. Cheng et al. (2023) e Pan e Cai (2023) destacam a participação de ácidos orgânicos, fosfatases, sistemas de transporte e interações entre microrganismos, raízes e características do solo. Assim, a presença de um marcador molecular pode indicar uma capacidade potencial, mas deve ser complementada por ensaios funcionais que demonstrem efetivamente a atividade de solubilização.

Além dos genes *gabY* e *mps*, diferentes genes relacionados à solubilização de fosfato já foram descritos em bactérias de diferentes espécies. Entre eles, destacam-se *pKKY*, identificado em *Enterobacter agglomerans*, *pK1M10*, identificado em *Rahnella aquatilis* (Kim et al., 1997), e *pKG3791*, descrito em *Serratia marcescens* (Krishnaraj e Goldstein, 2001).

Mais recentemente, estudos de genômica comparativa têm ampliado o número de genes candidatos utilizados na investigação desse processo. Chen et al. (2024), a partir da análise de 76 genomas de bactérias solubilizadoras de fosfato, destacaram genes do agrupamento *pqq*, particularmente *pqqC*, como marcadores promissores relacionados à solubilização de fosfato e à produção de metabólitos associados à via do pirroloquinolina quinona (PQQ).

Nesse contexto, a ausência de amplificação do par de primers *mps* observada no presente estudo não deve ser interpretada, isoladamente, como ausência de mecanismos genéticos relacionados à solubilização de fosfato. A não detecção pode estar relacionada à especificidade dos primers, à ocorrência de divergências nas sequências-alvo, às condições empregadas na reação de PCR ou, ainda, à ausência efetiva do gene nos isolados avaliados. Assim, novos testes, incluindo a otimização das condições de PCR e a utilização de diferentes marcadores moleculares, podem ampliar a caracterização genética desses isolados.

Os resultados obtidos apresentam relevância biotecnológica, especialmente considerando o potencial de utilização de bactérias endofíticas na promoção do crescimento vegetal e na disponibilização de nutrientes. A detecção de *gabY* em 20 dos 40 isolados avaliados permite selecionar esses microrganismos como

candidatos para etapas posteriores de caracterização e avaliação de sua eficiência.

Entretanto, é importante destacar que os isolados positivos para *gabY* não devem ser considerados, neste momento, inoculantes já validados. A eficiência de bactérias solubilizadoras de fosfato depende de diversos fatores, incluindo a estirpe bacteriana, a fonte de fósforo, as características do solo, a espécie vegetal hospedeira e as interações estabelecidas com a microbiota nativa. Estudos realizados com bactérias associadas a diferentes culturas agrícolas demonstram que resultados positivos obtidos *in vitro* nem sempre são reproduzidos nas mesmas proporções em condições de cultivo.

Nesse sentido, estudos como os de Oliveira et al. (2024), Lozada et al. (2024) e Vey et al. (2025) reforçam a necessidade de avançar da caracterização *in vitro* para avaliações em condições de cultivo. Vey et al. (2025), por exemplo, observaram atividade de solubilização em *Bacillus subtilis* e respostas positivas à inoculação bacteriana em associação com fontes de fósforo em soja. Oliveira et al. (2024), por sua vez, identificaram isolados de *Pantoea*, *Enterobacter* e *Klebsiella* capazes de solubilizar fósforo e promover respostas positivas em parâmetros de crescimento de plântulas de arroz. Esses resultados reforçam que a eficiência do processo é dependente da estirpe e da interação estabelecida entre microrganismo, planta e ambiente.

Dessa maneira, os 20 isolados que apresentaram amplificação para *gabY* devem ser considerados candidatos para estudos subsequentes de caracterização funcional e agronômica, e não como biofertilizantes ou inoculantes já comprovadamente eficientes. Ensaio complementares de quantificação da solubilização, expressão gênica, produção de ácidos orgânicos e

avaliação do crescimento vegetal poderão fornecer evidências adicionais sobre o potencial desses microrganismos.

A utilização desses isolados na produção de biofertilizantes poderá, futuramente, contribuir para estratégias mais sustentáveis de manejo da fertilização fosfatada, com potencial para reduzir a dependência de fontes minerais solúveis e os custos associados à adubação. Contudo, essa aplicação requer validação experimental em condições que reproduzam adequadamente o ambiente de cultivo.

CONCLUSÕES

A amplificação do marcador *gabY* foi observada em 20 dos 40 isolados de bactérias endofíticas de bananeira “Prata-Anã”, correspondendo a 50% do conjunto avaliado. Nenhum isolado apresentou amplificação para *mps* nas condições de PCR utilizadas. Os resultados indicam potencial genético associado à solubilização de fosfato em parte dos isolados, especialmente entre representantes de *Bacillus*, mas não permitem afirmar, isoladamente, que *gabY* determine a atividade funcional de solubilização. A atualização da interpretação com base na literatura recente reforça a necessidade de combinar marcadores moleculares com ensaios fenotípicos e, preferencialmente, análises genômicas envolvendo o sistema *pqq* e outros genes associados ao metabolismo do fósforo. Os isolados positivos constituem candidatos para estudos posteriores de eficiência e desenvolvimento de inoculantes, condicionados à validação em ensaios de planta e campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. F. et al. Analysis of the abilities of endophytic bacteria associated with banana tree roots to promote plant growth. **Journal of Microbiology**, v. 52, n. 1, p. 27–34, 2014. DOI: 10.1007/s12275-014-3019-2.

BABU-KHAN, S.; YEO, T. C.; MARTIN, W. I.; DURON, M. R.; ROGERS, R. D.; GOLDSTEIN, A. H. Cloning of a mineral phosphate solubilizing gene from *Pseudomonas cepacia*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 61, p. 972–978, 1995.

CHEN, X. et al. Genome-based identification of phosphate-solubilizing capacities of soil bacterial isolates. **AMB Express**, v. 14, n. 1, p. 85, 2024. DOI: 10.1186/s13568-024-01745-w.

CHENG, Y. et al. Phosphate-solubilizing bacteria: Their agroecological function and optimistic application for enhancing agro-productivity. **Science of the Total Environment**, v. 901, p. 166468, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166468.

HAMEEDA, B.; HARINIB, G.; RUPELAB, O. P.; WANIB, S. P.; REDDY, G. Growth promotion of maize by phosphate solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. **Microbiological Research**, v. 163, p. 234–242, 2008.

KIM, K. Y.; JORDAN, D.; McDONALD, G. A. Solubilization of hydroxyapatite by *Enterobacter agglomerans* and cloned *Escherichia coli* in culture medium. **Biology and Fertility of Soils**, v. 24, p. 347–352, 1997.

KRISHNARAJ, P. U.; GOLDSTEIN, A. H. Cloning of a *Serratia marcescens* DNA fragment that induces quinoprotein glucose dehydrogenase-mediated gluconic acid production in *Escherichia*

coli in the presence of stationary phase *Serratia marcescens*. **FEMS Microbiology Letters**, v. 205, p. 215–220, 2001.

LIU, T. S.; LEE, L. Y.; TAI, C. Y.; HUNG, C. H.; CHANG, Y. S.; WOLFRAM, J. H.; ROGERS, R.; GOLDSTEIN, A. H. Cloning of an *Erwinia herbicola* gene necessary for gluconic acid production and enhanced mineral phosphate solubilization in *Escherichia coli* HB101: Nucleotide sequence and probable involvement in biosynthesis of the coenzyme pyrroloquinoline quinone. **Journal of Bacteriology**, v. 174, p. 5814–5819, 1992.

LOZADA, J. A. R. et al. Selection and agricultural use of potential phosphate-solubilizing bacteria isolated from poultry slaughterhouse sludge in maize. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 45, n. 1, p. 305–314, 2024. DOI: 10.5433/1679-0359.2024v45n1p305.

MATOS, A. D. M. et al. Phosphate solubilization by endophytic bacteria isolated from banana trees. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 4, p. 2945–2954, 2017. DOI: 10.1590/0001-3765201720160111.

OLIVEIRA, J. A. de et al. Bioprospecting phosphate-solubilizing bacteria in soils with different fertility levels. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 45, n. 1, p. 271–286, 2024. DOI: 10.5433/1679-0359.2024v45n1p271.

PAN, L.; CAI, B. Phosphate-solubilizing bacteria: Advances in their physiology, molecular mechanisms and microbial community effects. **Microorganisms**, v. 11, n. 12, p. 2904, 2023. DOI: 10.3390/microorganisms11122904.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, v. 17, p. 319–339, 1999.

SANTOS, T. T.; VARAVALLO, M. A. Aplicação de microrganismos endofíticos na agricultura e na produção de substâncias de interesse econômico. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 32, n. 2, p. 199–212, 2011.

VEY, R. T. et al. Phosphate solubilization capacity by bacteria in soybean crops. **Brazilian Journal of Biology**, v. 85, e289630, 2025. DOI: 10.1590/1519-6984.289630.