



MARCELA DE SOUZA PEREIRA

**INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE
FOSFATO EM VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**LAVRAS – MG
2021**

MARCELA DE SOUZA PEREIRA

**INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO EM
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. (a). Dr (a). Fatima Maria de Souza Moreira
Orientadora

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel
Coorientador

**LAVRAS – MG
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Pereira, Marcela de Souza.

Inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato em
variedades de cana-de-açúcar / Marcela de Souza Pereira. - 2021.
40 p. : il.

Orientador(a): Fatima Maria de Souza Moreira.

Coorientador(a): Guilherme Vieira Pimentel.

TCC (graduação) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. *Saccharum* spp.. 2. Bactérias solubilizadoras de fosfato. 3.
Biovar. I. Moreira, Fatima Maria de Souza. II. Pimentel, Guilherme
Vieira. III. Título.

MARCELA DE SOUZA PEREIRA

**INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO EM
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR
INOCULATION OF PHOSPHATE SOLUBILIZING BACTERIA IN SUGARCANE
VARIETIES**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 3 de maio de 2021.

MSc(a) Flávia Reis Sales

Dr (a) Aline Oliveira Silva

Prof. (a). Dr (a). Fatima Maria de Souza Moreira
Orientadora

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel
Coorientador

**LAVRAS – MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre presente em minha vida, em todos os momentos, me guiando, iluminando, fortalecendo minha fé, por me conceder oportunidades excelentes, por sua bondade, por me amar e por me ajudar em todos os obstáculos ao longo do curso.

Aos meus pais, Rita e Luiz, pelo amor, carinho, cuidado, confiança, apoio e incentivo, que me permitiram chegar até aqui. Por me mostrarem o verdadeiro significado da palavra amor.

À minha irmã, Camila, pelo amor, carinho, confiança, cumplicidade e conselhos, e por todos os momentos de distrações, que sempre me alegraram.

Ao meu cunhado, Bruno, por todos os conselhos, pela confiança, pelo incentivo e por todo o cuidado que sempre teve comigo.

Ao meu amigo de curso e de vida, Celso, pela amizade, companheirismo, carinho e pelo apoio durante todo o curso.

Às minhas amigas, Carol e Mylena, por sempre serem presentes em minha vida e por todos os momentos que passamos juntas.

Aos meus amigos do Laboratório de Microbiologia, em especial Celso, Flávia, Tainara, Maria Vitória, Anita, Bruna e Aline.

Ao Núcleo de Estudos em Cana-de-açúcar (NECANA), pela amizade, apoio e ajuda neste trabalho. Em especial, a Giovanna e ao João Lucas, que compartilharam este experimento comigo. E à Ana Clara, pela amizade e apoio de sempre.

Aos técnicos de laboratório Marlene e Paulo pelo suporte nas atividades.

À Professora Fatima, pelos ensinamentos, pela confiança e por ser uma pessoa a qual tenho muita admiração. Ao professor Guilherme, pelos ensinamentos, oportunidades e confiança.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), por me acolherem e colaborarem para o que sou hoje.

À todos os meus amigos da UFLA, da ADAMA, da Cooxupé Núcleo de Caconde, pelos momentos de alegrias, aprendizados e dificuldades compartilhadas. Em especial, minha querida amiga Nívia.

Aos meus amigos de trabalho da Evolução Agrícola, por me receberem de braços abertos nesse novo desafio da minha vida. Em especial, Gi e Tafarel.

Às instituições de fomento CNPq, CAPES, FAPEMIG e PIBIC/UFLA, através das quais este e demais projetos foram realizados.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para que até aqui, eu pudesse alcançar todos os meus objetivos com sucesso,

MEU MUITO OBRIGADA!

*“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.”*

(Charles Chaplin)

RESUMO

A cana-de-açúcar ocupa posição de destaque na balança comercial do Brasil, pois o país possui a maior área plantada e a maior produtividade mundial dessa cultura. Além disso, a cana é a matéria-prima para a produção de açúcar e etanol, tornando-a uma das principais *commodities* do agronegócio brasileiro. Para atingir altas produtividades, é necessário que sejam empregados manejos específicos, desde sua instalação no campo até a colheita, principalmente um balanço nutricional adequado. Dentro os nutrientes, o fósforo é um dos mais exigidos pelas plantas. A cana-de-açúcar possui alta demanda por esse nutriente, pois ele está relacionado com a composição de moléculas que atuam no processo da fotossíntese, na formação de proteínas, na divisão celular e no metabolismo energético, sendo então, fundamental para o crescimento das raízes e formação de sacarose, principal molécula para a produção de etanol e açúcar. A forma mais comum de aplicação desse nutriente é por meio de adubação com fosfatos. Esses fosfatos são extraídos de rochas fosfatadas, mas é um recurso de alto custo, pois necessita ser importado, uma vez que os solos do Brasil possuem deficiência do mesmo. Nesse sentido, torna-se necessário buscar alternativas viáveis para aumentar a disponibilidade de fósforo no solo. Dessa forma, o uso de bactérias que são capazes de solubilizar o fosfato podem auxiliar nesse incremento, de forma econômica e sustentável. Objetivou-se com esse estudo avaliar a eficiência de bactérias solubilizadoras de fosfato inoculadas junto com uma fonte de fosfato de rocha (Biovar), em duas cultivares de cana-de-açúcar (SP80-1842 e RB867515). O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, do Departamento de Ciência do Solo (DCS-UFLA) por um período de 90 dias. Foram utilizadas 3 estirpes de bactérias solubilizadoras de fosfato (UFLA 03-10 *Paenebacillus kribbensis*; UFLA 04-21 *Burkholderia sp*; UFPI B5-6 *Enterobacter sp*), todas com a fonte de fosfato de rocha Biovar, controle positivo (com adubação fosfatada mineral – Super Triplo), controle absoluto (sem nenhuma fonte de fósforo, apenas o fósforo do solo, denominado Legacy – L) e controle com somente Biovar. Ao total, foram utilizados 64 vasos de 10 kg cada, e a inoculação foi feita com 6 mL vaso⁻¹ nas extremidades de cada tolete, visando a concentração de bactérias próximo ao local de surgimento das raízes. Foram analisados a massa fresca de raiz (MFR) e de parte aérea (MFPA), massa seca de raiz (MSR) e de parte aérea (MSPA), índice SPAD, altura, porcentagem de brotação e fósforo. Os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação entre as médias dos tratamentos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. A massa fresca de raiz foi maior nas duas variedades (SP80-1842 e RB867515) com os tratamentos com as estirpes UFLA 03-10 e UFPI B5-6. Já o teor de fósforo na parte aérea da planta foi maior na cultivar RB867515, quando inoculado com as estirpes UFPI B5-6 e a UFLA 04-21.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*. Bactérias Solubilizadoras de Fosfato. Biovar.

ABSTRACT

Sugarcane occupies a prominent position in Brazil's trade balance, and the country has the largest planted area and the highest productivity in the world. Furthermore, sugarcane being the raw material for the production of sugar and ethanol, making it one of the main commodities of Brazilian agribusiness. This crop requires an adequate nutritional balance, especially in relation to the installation of the crop in the field, and phosphorus is one of the main nutrients required by the crop. Sugarcane - sugarcane has high demand for this nutrient because it is related to the composition of molecules that act in the process of photosynthesis, protein formation, cell division and energy metabolism, being therefore fundamental for root growth and sucrose formation, the main molecule for the production of ethanol and sugar. The way of applying this nutrient is through phosphate, and this is a high cost resource, because it needs to be imported, since soils in Brazil have its deficiency. In this sense, it is necessary to seek viable alternatives to increase the availability of phosphorus in the soil. Thus, the use of bacteria that are capable of solubilizing phosphate can help in this increase, in an economical and sustainable way. The objective of this study was to evaluate the efficiency of phosphate solubilizing bacteria inoculated together with a source of rock phosphate (Biovar) in two sugarcane cultivars (SP80-1842 and RB867515). The experiment was conducted in a greenhouse of the Laboratory of Biology, Microbiology and Soil Biological Processes of the Department of Soil Science (DCS-UFLA) for a period of 90 days. Three strains of phosphate solubilizing bacteria (UFLA 03-10; 04-21 UFLA; UFPI B5-6), all of them was inoculated with rock phosphate Biovar, positive control (with mineral phosphate fertilization - ST), absolute control (without any phosphorus source, only soil phosphorus, called Legacy - L) and only Biovar. It was used 64 pots of 10 kg each, and it was inoculated 6 mL at the end of the sugarcane stool, aiming to concentrate bacteria near in the place where the roots appear. Fresh root (MFR) and shoot (MFPA), root dry mass (MSR) and shoots (MSPA), SPAD, height, sprouting percentage and phosphorus were analyzed. The data were submitted to variance analysis and the comparison between the means of the treatments by the Scott Knott test at 5% probability. Fresh root mass was higher with the strains UFLA 03-10 and UFPI B5-6 in both varieties (SP80-1842 and RB867515). Phosphorus in the aerial part of the plant was higher in RB867515, when inoculated with the strains UFPI B5-6 and UFLA 04-21.

Keywords: *Saccharum spp.*. Phosphate Solubilizing Bacteria. Biovar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Porcentagem de brotação da RB867515 em relação aos tratamentos.....	26
Figura 2 – Porcentagem de brotação da SP80-1842 em relação aos tratamentos.	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de fertilidade do solo coletado na área de produção de cana-de-açúcar....	22
Tabela 2 – Descrição das cultivares de cana-de-açúcar.	23
Tabela 3 – Descrição das estirpes de bactérias utilizadas: UFLA 03-10, UFLA 04-21, UFPI B5-6.	24
Tabela 4 – Índice SPAD, massa fresca de raiz (MFR) e massa seca de parte aérea (MSPA) em função das variedades SP80-1842 e RB867515.	28
Tabela 5 – Índice SPAD, massa fresca de raiz (MFR) e massa seca de parte aérea (MSPA) das variedades SP80-1842 e RB867515 em função das fontes de P: UFLA 03-10 + Biovar, UFLA 04-21 + Biovar, UFPI B5-6 + Biovar, Biovar, Legacy e ST.	29
Tabela 6 – Massa fresca de parte aérea (MFPA) em função da interação de variedades (SP80-1842 e RB867515) e fontes de P (UFLA 03-10 + Biovar, UFLA 04-21 + Biovar, UFPI B5-6 + Biovar, Biovar, Legacy e ST).	30
Tabela 7 – Fósforo em função da interação de variedades (SP80-1842 e RB867515) e fontes de P (UFLA 03-10 + Biovar, UFLA 04-21 + Biovar, UFPI B5-6 + Biovar, Biovar, Legacy e ST).	30
Tabela 8 – Altura em função da interação de variedades (SP80-1842 e RB867515) e fontes de P (UFLA 03-10 + Biovar, UFLA 04-21 + Biovar, UFPI B5-6 + Biovar, Biovar, Legacy e ST).	31
Tabela 9 – Análise de variância para (SPAD), (MFPA), (MFR) e (MSPA) em função de variedade e fontes de P.	40
Tabela 10 – Análise de variância para (SPAD), (MFPA), (MFR) e (MSPA) em função de variedade e fontes de P.	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Cana-de-açúcar: importância econômica e social	16
2.2. Cana-de-açúcar: importância das variedades	16
2.3. Fósforo: importância e desafios na agricultura tropical.....	17
2.4. Solubilização biológica de fósforo: bactérias como alternativas viáveis	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Caracterização da área de coleta de solo.....	22
3.2. Amostragem de solo	22
3.3. Cultivares de cana	22
3.4. Capacidade de campo do solo.....	23
3.5. Adubação.....	23
3.6. Preparo do inoculante	23
3.7. Delineamento e condução experimental	24
3.8. Desbaste	24
3.9. Local do experimento e avaliações	24
3.10. Análise estatística.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5. CONCLUSÕES.....	32
REFERÊNCIAS	33
APÊNDICE A – Análises de variância	40

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das principais *commodities* do agronegócio brasileiro. O país possui uma área plantada de 10 milhões de hectares e uma produtividade de 75,3 toneladas por hectare (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO, 2019). A estimativa de produtividade da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para a safra 2020/2021 é cerca de 630,7 mil toneladas de cana-de-açúcar, sendo a maior parte destinada a produção de açúcar (aumento de 18,5% em relação à safra anterior). Em relação à produção de etanol, a estimativa é de 29,3 bilhões de litros, (redução de 13,9% em comparação à safra passada, que foi recorde), devido à pandemia do COVID-19 (CONAB, 2020). Além da produção de etanol e açúcar, as unidades de produção têm buscado aumentar sua eficiência na geração de energia elétrica, contribuindo para o aumento da oferta e redução dos custos, contribuindo na ampliação da sustentabilidade do setor (CONAB, 2018).

Por se tratar de uma cultura semi-perene, a cana de açúcar requer um balanço nutricional adequado, principalmente referente à sua instalação no campo. Dentre os macronutrientes primários, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), esse segundo é o absorvido em menor quantidade pela cultura, mas isso não o torna o menos importante. Dentre as funções do P para as plantas, estão a composição de moléculas que atuam no processo da fotossíntese, formação de proteínas, divisão celular, metabolismo energético, além de ser importante para o crescimento das células, de modo especial, para o crescimento das raízes (VITTI; MAZZA, 2002). Além disso, o fósforo está relacionado a formação de sacarose na cana-de-açúcar, substância que é um dos indicadores de qualidade para o produto destinado à indústria de açúcar. O POL é um dos indicadores de qualidade, sendo ele o teor de sacarose aparente na cana e, para a indústria canavieira, quanto mais elevado o teor de sacarose, melhor. (RIPOLI; RIPOLI, 2004).

Por estar relacionado ao crescimento e desenvolvimento vegetativo das plantas, o fósforo é o segundo nutriente mais limitante da produção de cana-de-açúcar, já que ele atua na formação inicial da cultura e como já dito, no desenvolvimento da raiz (MALAVOLTA, 2006). Assim, possui também a função de promover absorção de água em profundidade, além de outros nutrientes. Quanto melhor a nutrição da cultura em fósforo, maior o desenvolvimento radicular e conseqüentemente, a cultura terá melhores condições de explorar maior volume de solo e tolerar intempéries como veranicos (KORNDORFER, 2004).

Entretanto, os solos do Brasil apresentam a chamada “fome de fósforo”, característico de solos tropicais e intemperizados. Apesar dos solos terem bastante P total, somente uma pequena parte é disponível para as plantas (SAMPAIO, 2011). Essa baixa disponibilidade é devido ao material de origem, a adsorção com argila e também com a precipitação com óxidos e hidróxidos de Ferro (Fe) e Alumínio (Al) (CAIONE et al., 2015). Além disso, o P é um nutriente com baixa mobilidade no solo, sendo absorvido principalmente por interceptação radicular. Na prática, tais fatos implicam com que doses maiores tenham que ser aplicadas para atender as necessidades da cultura (SILVA et al., 2010).

Devido a necessidade de doses superiores as recomendadas de fósforo para compensar o P fixado e indisponível para a cultura, o custo dessa adubação é consideravelmente onerado, já que o adubo fosfatado é produzido principalmente no leste da Ásia, América do Norte e África, sendo cotado em dólares e necessitando ser importado. Além disso, o cenário de reservas desse nutriente no mundo é escasso e já se encontra em risco de esgotamento das rochas fosfatadas para a produção desse adubo (SILVA et al., 2010). Outro ponto a se destacar são as aplicações indiscriminadas e excessivas de fertilizantes fosfatados químicos, que podem ter efeitos negativos na sustentabilidade da agricultura e na segurança do solo e do meio ambiente. Alguns metais pesados, como o Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Chumbo (Pb) e Mercúrio (Hg) podem ser introduzidos no sistema, devido à adubação fosfatada (SHARPLEY E MENZEL, 1987).

Os microrganismos desempenham um papel fundamental no ciclo biogeoquímico do fósforo, aumentando sua disponibilidade na solução do solo, e conseqüentemente, para as plantas. Isso se deve ao fato de que esses microrganismos possuem a capacidade de solubilizar o fosfato, forma que esse nutriente fica disponível para as plantas. Essa solubilização ocorre através da produção e liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (SPERBER, 1958; MARRA et al., 2012). Além disso, microrganismos solubilizadores de fósforo podem também produzir fitormônios, que auxiliam no desenvolvimento da planta (SRINIVASAN et al., 2012). De acordo com Remans et al. (2007), os fitormônios afetam diversas atividades fisiológicas nas plantas, tais como o alargamento de células, a divisão celular, a iniciação radicular, o crescimento, o fototropismo, o geotropismo e a dominância apical.

Dentre as estratégias que visam a sustentabilidade, a utilização das formas de P contidas nos fosfatos de rocha, que apresentam baixa solubilidade, tem sido o destaque do cenário atual. Isso se deve ao fato de que a disponibilidade do nutriente para as plantas pode ser aumentada com a presença de microrganismos solubilizadores de P (RAJANKAR et al., 2007; BOJINOVA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2010). A inserção de microrganismos com capacidade de

solubilizar o P contido nessas rochas e no solo, torna disponível esse nutriente ao metabolismo vegetal (FAGERIA et al., 1991; KORNDORFER et al., 1999; LÉON et al., 1986). Além disso, o uso de fosfatos de rocha menos concentrados, se destaca também pelo baixo preço em comparação aos fosfatos concentrados. É válido destacar que o uso desses fosfatos é uma forma alternativa de utilização de rochas que são dispensáveis para a produção de fertilizantes, visto que possuem um alto grau de impureza e menor porcentagem de fósforo.

Logo, objetivou-se com esse estudo avaliar a eficiência de bactérias solubilizadoras de fosfato inoculadas junto com uma fonte de fosfato de rocha (Biovar), em duas cultivares de cana-de-açúcar (SP80-1842 e RB867515).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cana-de-açúcar: importância econômica e social

O setor sucroenergético é responsável por uma considerável parte da balança comercial brasileira, sendo que entre os anos de 2012 e 2018, este setor respondeu por 5% da balança comercial. Desde 2012, a cadeia de produção da cana, desde os insumos, atividades primárias, indústria e até os serviços, correspondem à, aproximadamente, 10% do PIB do agronegócio brasileiro (UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA, 2019). Para a safra de 2020/2021, é estimado cerca de 630,7 mil toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2020). Dessa forma, o Brasil se destaca no cenário mundial por possuir boa disponibilidade de áreas agricultáveis, relevo e condições climáticas favoráveis, além do conhecimento técnico adquirido através das práticas de cultivo e de pesquisas (SILVA et al., 2010; CALDAS, BORÉM SANTOS, 2012).

Uma vez que o Brasil se encontra como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, esse setor está diretamente relacionado à economia do país. Na safra 2014/15, o setor sucroenergético gerou 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos (IEA, 2015). Além disso, a cana-de-açúcar é a matéria-prima para a produção do açúcar, etanol, cachaça, geração de energia, e também para a alimentação animal (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA, 2012). Apesar de sua imensa versatilidade, a maior parte da produção nacional é destinada aos biocombustíveis e ao açúcar (DIAS, 2011).

Devido ao incentivo por parte do governo e ao aumento do consumo interno de etanol, o Brasil tem tido uma produção cada vez mais crescente (MORAES; ZILBERMAN, 2014). Para a safra de 2019 foram moídas 642,7 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, sendo que aproximadamente 65% foi destinada a produção de etanol, distribuídos em anidro e hidratado, e os outros 35% para a produção de açúcar (CONAB, 2019). Assim sendo, a cana-de-açúcar possui um relevante destaque no cenário do agronegócio brasileiro e mundial.

2.2. Cana-de-açúcar: importância das variedades

A elevada produtividade da cana-de-açúcar está diretamente ligada ao melhoramento genético, que visa garantir a rentabilidade do setor sucroalcooleiro. É através do melhoramento que são desenvolvidas novas variedades, com capacidade de se adaptarem às diferentes condições de solo e clima, e também à incidência de pragas e doenças, assim como ao sistema de colheita utilizado (MARIN, 2018).

Apesar de ser vantajoso a existência de diversas variedades, a tomada de decisão pode ser mais difícil, visto que é requerido um conhecimento profundo por parte do profissional responsável. Outro ponto a ser destacado é a importância da manutenção de diferentes cultivares de cana-de-açúcar na lavoura, visando a diminuição da possibilidade de que alguma praga ou doença se prolifere dentro do canavial, causando prejuízos (MARIN, 2018).

Dessa forma, para que se obtenha elevadas produtividades, o manejo varietal deve visar incrementos na produtividade agrícola através da interação entre genótipo e ambiente (LANDELL et al., 2006). Atualmente, os programas de melhoramento genético buscam por variedades que sejam geneticamente superiores, com elevadas produtividades, melhor qualidade industrial e adaptabilidade aos fatores abióticos e bióticos, seja eles a resistência ou tolerância a pragas e doenças (NOBREGA e DORNELAS, 2006).

Na safra 2019/2020, dentre as variedades mais utilizadas, destaca-se a foram a RB867515 (PUPULIN, 2020). Apesar da RB867515 ser uma variedade antiga e com problemas em relação à mecanização, é ainda uma variedade muito utilizada, especialmente na região Centro-Sul, devido à sua rusticidade e seu bom perfilhamento. De acordo com os dados do censo, no ano de 2019, esta variedade liderou com 21% de participação na safra. No entanto, têm-se percebido sua redução, visto que em 2017, o percentual da área de cultivo era de 26,3%. O baixo índice de renovação dos canaviais é o principal fator para a liderança da RB867515 nas listas de cultivo (CANA ONLINE, 2020). Já a variedade SP80-1842 possui um rápido crescimento, boa soqueira e possui uma longevidade considerável, apesar de ser susceptível ao ataque de cigarrinhas (UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA, 2004).

2.3. Fósforo: importância e desafios na agricultura tropical

A fertilidade do solo está diretamente relacionada com a produtividade das plantas, uma vez que os demais fatores de produção, como o clima e a disponibilidade de água, estejam em níveis não limitantes. (REIS, 2009. O fósforo (P) é o segundo nutriente mais comumente aplicado às culturas, devido a sua importância para os seres vivos, por limitar a produção das culturas, e por ser também, um insumo mineral finito e insubstituível (MALAVOLTA, 2006).

O fósforo é um componente essencial da molécula de trifosfato de adenosina (ATP), que é responsável pelo armazenamento de energia dentro das células; do ácido desoxirribonucleico, (DNA); do ácido ribonucleico (RNA), que controla a síntese das proteínas; e dos fosfolipídios, que são os principais constituintes das membranas celulares (BRADY; WEIL; 2012). Em suma, a principal função do fósforo na planta é armazenar e

transferir energia. Sendo assim, o P é imprescindível para o crescimento e reprodução das plantas. Àquelas que possuem um baixo suprimento nutricional não alcançam seu máximo potencial produtivo (REIS, 2009; MARSHNER, 1995).

Para a cana-de-açúcar, situações com de baixa fertilidade de P afetam de forma negativa o diâmetro e comprimento dos entrenós, o perfilhamento e o desenvolvimento das folhas, levando a reduções significativas de crescimento da mesma (ALVAREZ et al., 1960; ALVAREZ; PACHECO, 1963). Já em relação às características tecnológicas, o fósforo possui influência no processo de clarificação do caldo, sendo que aqueles com baixo teor desse nutriente são de difícil floculação, o que prejudica no processo de decantação das impurezas. Essas impurezas irão produzir açúcar de baixa qualidade e de menor valor econômico, já que no processo de clarificação, o fósforo reage com o hidróxido de cálcio para a formação de fosfato tricálcico, o qual, ao flocular e sedimentar, arrasta as impurezas que permaneceram no fundo do decantador (KORNDORFER, 2004).

No entanto, um dos fatores mais limitantes da agricultura nos solos tropicais é a alta capacidade de fixação de fósforo (P), que resulta em uma baixa disponibilidade desse elemento para as plantas (NOVAIS; SMYTH, 1999). Em solos ácidos, como os do Brasil, devido as reações de equilíbrio, a forma predominante do P na solução do solo é como íons ortofosfato (H_2PO_4^-). Quando em fase sólida, há uma combinação do P com metais, como ferro e alumínio, com o cálcio e com a matéria orgânica (RAIJ et al., 2001). Assim, solos brasileiros normalmente apresentam baixa quantidade disponível desse elemento, além da alta capacidade de fixação de fósforo, fenômeno conhecido como “fome de fósforo”.

Geralmente, mais de 75% do fósforo aplicado no solo é perdido, ficando retido nas partículas minerais de solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Dessa forma, o P é de extrema importância em solos que apresentam teores de P disponível abaixo ou muito abaixo dos níveis críticos utilizados para interpretação de análise, o que irá limitar o desenvolvimento normal das culturas (LOPES, 1983). Logo, nestes solos são necessárias grandes quantidades de aplicações de P, para que se possa manter uma boa disponibilidade deste nutriente para as plantas (SOUSA et al., 2004).

Outro desafio encontrado na agricultura tropical é o custo da adubação fosfatada, que é consideravelmente onerosa, uma vez que o adubo fosfatado é produzido, principalmente, no leste da Ásia, América do Norte e África. Assim, esse adubo é cotado em dólares e necessita ser importado (SILVA et al., 2010). Ademais, a principal fonte de P são as rochas fosfatadas, que são recursos naturais não renováveis. Dessa forma, o cenário de reservas desse nutriente no mundo é escasso e já se encontra em risco de esgotamento. Segundo Moreira e Siqueira (2006),

estima-se que tais reservas esgotarão nos próximos 80 a 100 anos. Logo, existe um complexo de desafios para serem superados no manejo do P, para que se possa proporcionar ganhos de produtividade.

No entanto, os fosfatos de rocha menos concentrados reagem mais lentamente no solo. Dentre estes, o mais reativo é o Biovar, que contém 28% de P_2O_5 . Poucos são os estudos sobre essa alternativa, porém, os resultados são positivos para o uso deste na agricultura (DIAS et al., 2014).

De acordo com estudos realizados por Rezende et al. (2015), objetivando-se avaliar diferentes doses de fosfato natural reativo (100, 200, 300, 400 e 500 mg dm^{-3}) no desenvolvimento e produção da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, notou-se que o desenvolvimento da *Brachiaria* foi influenciado pelas adubações com doses de fosfato natural reativo Biovar, com os melhores resultados alcançados nas doses de fósforo (P_2O_5), entre 300 e 400 mg dm^{-3} .

2.4. Solubilização biológica de fósforo: bactérias como alternativas viáveis

Diversos grupos de microrganismos do solo possuem a capacidade de solubilizar fosfatos inorgânicos, que podem variar de acordo com a comunidade microbiana. Alguns gêneros de bactérias possuem eficiência comprovada nesse processo, como *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter*, o que aumenta a disponibilidade de P no solo, resultando em um maior rendimento da cultura (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os mecanismos envolvidos na solubilização de P por meio das bactérias são diversos, sendo que a produção de ácido orgânico e a extrusão de prótons são as mais relevantes. Os prótons excretados permanecem perto da superfície da célula, resultando em uma diminuição do pH (SCHOLZ et al., 2013). Além disso, a produção de ácidos orgânicos de baixa massa molecular auxilia para se obter um maior potencial de solubilização (MARRA et al., 2011).

As bactérias solubilizadoras de fosfatos podem aumentar a taxa de crescimento das plantas, estejam elas aliadas ou não à outros organismos benéficos do solo (CHABOT et al., 1993; KIM et al., 1998; SINGH; KAPOOR, 1999). Além disso, a capacidade de solubilização de fosfatos pode ser tanto daqueles já existentes no solo, quanto daqueles que são adicionados na forma de fertilizantes (WHITELAW, 1999; RICHARDSON, 2009). Outro ponto é que a inoculação desses microrganismos pode promover o crescimento das plantas através da liberação de hormônios, solubilização de outros nutrientes, como o potássio (K), além de apresentarem efeito sinérgico com micorrizas, bactérias fixadoras de nitrogênio e promotores

de crescimento vegetal (MEDINA et al., 2006; KHAN et al., 2007; RICHARDSON, 2009; VASSILEVA et al., 2010).

No entanto, apesar desses microrganismos ocorrerem com frequência no solo, seu número não é suficiente para a competição existente com os outros microrganismos já estabelecidos na rizosfera do solo. Sendo assim, a quantidade de P liberada por eles é insuficiente para um aumento significativo do crescimento vegetal. Logo, o uso desses microrganismos como inoculantes em associação com fontes de P de baixa solubilidade, pode beneficiar a mobilização de nutrientes para as plantas (ILLMER et al., 1995; KIM et al., 1998; WHITELOW, 1999; GOLDSTEIN et al., 2003). A associação desses microrganismos com uma fonte de P de baixa solubilidade, como os fosfatos naturais, tem obtido sucesso em algumas culturas, com ganhos em produção e crescimento, como alfafa (RODRIGUEZ; FRAGA, 1999), gramíneas e milho (NAHAS et al., 1994b) e cana-de-açúcar (STAMFORD et al., 2004).

Segundo Trabelsi (2017), a adubação com fosfato de rocha fornece alterações na comunidade microbiana do solo, o que estimula a ciclagem de fósforo. Assim, se destaca nesse cenário o Biochar, que é formado através da deposição e decomposição de restos de animais marinhos, e é proveniente do Peru. Sua utilização tem sido, principalmente, para a fabricação de fosfatos solúveis. Com uma concentração de 28% de P_2O_5 , o Biovar tem sido uma alternativa promissora para o fornecimento de fósforo, pois apresenta boa eficiência agrônômica em solos com baixa fertilidade natural, apesar de possuir uma baixa concentração de P em relação as fontes convencionais de P solúvel (LEITE, 2019).

De acordo com estudos realizados na cultura do milho por Leite (2019), utilizando fertilizantes à base de diferentes concentrações de biocarvão e inoculação de estirpes de bactérias que solubilizam fósforo (UFLA 03-10 *Paenibacillus kribbensis*, UFLA 04-155 *Burkholderia fungorum* e UFPI B5-8ª *Pseudomonas sp*), a inoculação teve um efeito direto no aumento da matéria seca da parte aérea, o que comprova a eficiência de tais estirpes na solubilização de fósforo e acúmulo de massa seca.

Poucos são os estudos sobre o uso de Biovar e inoculação bacteriana (GŁODOWSKA et al., 2016; RAFIQUE et al., 2017; WEI et al., 2016). Dessa forma, é importante avaliar os mecanismos de solubilização de P para que se possa empregar as vantagens proporcionadas por essa tecnologia sustentável e de baixo custo.

Dessa forma, o uso de microrganismos como inoculantes é uma alternativa sustentável e ambientalmente correta, quando comparado ao uso de fertilizantes químicos (KHAN et al., 2010). Ademais, essa técnica possui baixo custo, são fontes renováveis de nutrientes para as plantas e reduzem o custo de produção.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de coleta de solo

O solo foi coletado na área de produção de cana-de-açúcar da empresa Bocaina Agroindústria e Comércio de Cachaça LTDA, que fica localizada no Município de Lavras – MG (21°16'04.45"S e 45°00'12.88"W, à 912m de altitude. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), profundo, bem drenado e textura muito argilosa (SANTOS et al., 2006). Essa área possui cultivo de cana-de-açúcar há mais de 25 anos, em sistema convencional, sem a queima da cultura para colheita. A classificação climática da localidade segundo Köppen é o Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, tropical.

3.2. Amostragem de solo

As amostras foram coletadas na profundidade de 0-20 cm, totalizando 640 quilos de solo, 30 dias antes do início do experimento. Foi realizada a caracterização da fertilidade do solo (Tabela 1). Após a coleta, o solo foi peneirado, misturado e colocado em vasos com capacidade de 10 kg, totalizando 64 vasos ao final.

Tabela 1 – Análise de fertilidade solo coletado na área de produção de cana-de-açúcar.

Identificação	pH	M.O	K	P	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	m
		dag/kg	-- mg/dm ³ --			---- cmol _c /dm ³ ----			%	%	
A1A2	5,3	2,42	33,57	1,12	1,71	0,92	3,50	3,50	6,22	43,67	2,51

pH em CaCl₂; Ca, Mg e Al: extrator KCl 1 mol/L; P-rem: fósforo remanescente; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu: extrator Mehlich 1.

3.3. Cultivares de cana

As duas variedades de cana-de-açúcar (SP80-1842 e RB867515), descritas na Tabela 2, foram coletadas uma semana antes do início do experimento, na fazenda experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Posteriormente, foram cortadas em mini-toletes e armazenadas em câmara fria até o momento de seu plantio.

Tabela 2 – Descrição das variedades de cana-de-açúcar.

Cultivar	Características
SP80-1842	Ciclo médio
RB867515	Ciclo tardio

Fonte: Do autor (2021).

3.4. Capacidade de campo do solo

A capacidade de campo do solo foi testada para uma umidade de 60% do volume total de poros (VTP), para ser utilizada durante a irrigação por todo o ciclo de cultivo do experimento. Pesou-se 100 g de solo que foram colocados em um funil, com uma fina camada de algodão em seu orifício e adicionou-se 100 mL de água. Após o cálculo de quantificação da água retida, chegou-se a necessidade de 3,3 L de água a ser colocada por vaso após a adubação, para atingir a capacidade de campo do solo.

3.5. Adubação

A adubação da cana foi feita nos vasos, seguindo a recomendação de Malavolta (1980), utilizando 266 g de ureia (fonte de nitrogênio), 418 de super triplo (fonte de fósforo para o controle), 1060 de biovar (fonte de fósforo de menor reatividade) e 13,8 de cloreto de potássio, por vaso. Após 40 dias do plantio, foi realizada a adubação de cobertura com 44 g de ureia.

3.6. Preparo do inoculante

Para o preparo do inoculante, foi feito meio 79 líquido (FRED; WAKSMAN, 1928) (manitol 10 g L⁻¹; solução K₂HPO₄ 10% 1 mL L⁻¹; solução KH₂PO₄ 10% 4 mL L⁻¹; solução MgSO₄ 10% 2 mL L⁻¹; solução NaCl 10% 1 mL L⁻¹; extrato de levedura em pó 0,4 g L⁻¹; azul de bromatino 0,5 mL L⁻¹) o qual foi autoclavado por 20 minutos à 120°C. O meio foi preparado em erlenmeyers de 125 mL. A inoculação das três estirpes de bactérias solubilizadoras de fósforo (UFLA 03-10; UFLA 04-21; UFPI B5-6), descritas na Tabela 3, foi realizada em câmara de fluxo laminar a partir da raspagem das colônias isoladas pré-crescidas em meio sólido, com auxílio de alça de platina. Posteriormente, os erlenmeyers foram colocados em mesa agitadora por 48 horas, de acordo com o tempo de crescimento das estirpes.

Tabela 3 – Identificação das estirpes de bactérias utilizadas: UFLA 03-10, UFLA 04-21, UFPI B5-6.

Estirpe	Gênero
UFLA 03-10	<i>Paenebacillus kribbensis</i>
UFLA 04-21	<i>Burkholderia</i> sp.
UFPI B5-6	<i>Enterobacter</i> sp.

Fonte: Costa et al., 2015, Leite et al., 2020

3.7. Delineamento e condução experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em blocos casualizados, contendo seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: UFLA 03-10 + Biovar, UFLA 04-21 + Biovar, UFPI B5-6 + Biovar; Biovar; Super Triplo (adubação fosfatada mineral - controle positivo) e Legacy (apenas o fósforo do solo, sendo o controle absoluto).

Foram colocados 2 toletes por vaso, de modo que a gema da cana-de-açúcar ficasse para cima. Foi inoculado 6 mL nas extremidades de cada tolete, visando a concentração de bactérias próximo ao local de surgimento das raízes (gema).

3.8. Desbaste

Após 40 dias de experimento, foi feito o desbaste, com o intuito de diminuir o efeito da competição. Além disso, foi feito o transplante de plantas dentro do mesmo tratamento, visto que alguns vasos não germinaram. Foi feito também, aos 40 dias de experimento, o controle de ácaros com Abamectina, utilizando 2 L de água e 6 mL do acaricida.

3.9. Local do experimento e avaliações

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, do Departamento de Ciência do Solo (DCS-UFLA) por um período de 90 dias.

A porcentagem de brotação foi avaliada durante 30 dias. Contou-se, diariamente, o número de brotos novos de cada vaso. A altura foi medida um dia antes da coleta do experimento e foi realizada utilizando-se uma fita graduada, medindo a distância da base do colmo até o colarinho da folha +1. Após a coleta do experimento, foi realizada a pesagem da massa fresca da parte aérea (MFPA) e a massa fresca de raiz (MFR). Em seguida, tanto a parte aérea quanto a raiz foram identificadas e armazenadas em estufa, por sete dias, à 35°C. Após esse período, foi realizada a pesagem da massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca de

raiz (MSR). A MSPA foi moída e enviada para análise foliar no Laboratório de Fertilidade do DCS-UFLA.

Para todas as variedades de cana-de-açúcar, as variáveis analisadas foram: massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de parte aérea (MFPA), massa seca de raiz (MSR), massa seca de parte aérea (MSPA), SPAD, altura, porcentagem de brotação e teor de fósforo (P).

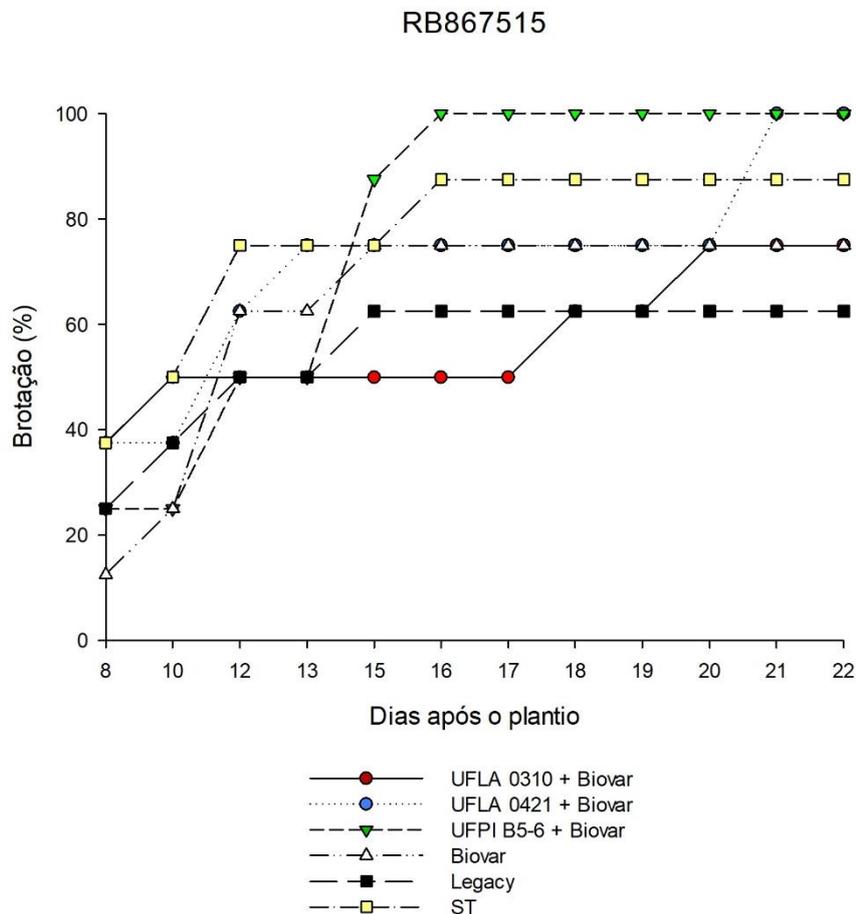
3.10. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação entre as médias dos tratamentos pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011). Para a porcentagem de brotação, foi utilizado o programa SigmaPlot (SYSTAT SOFTWARE, San Jose, CA).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a cultivar RB867515, apesar do tratamento com Super Triplo ter tido as maiores porcentagens de brotação aos 10 dias após o plantio, o tratamento com a inoculação com a estirpe UFPI B5-6 teve uma maior eficiência de brotação aos 16 dias após plantio, superando o tratamento controle com Super Triplo. Visto que as bactérias solubilizadoras de fosfato também possuem a capacidade de produção de fitormônios, esse efeito significativo da inoculação pode ser resultado da atuação desses fitormônios na brotação da cana. O tratamento com a estirpe UFLA 03-10 foi a que apresentou menor porcentagem de brotação, em relação aos demais tratamentos (Figura 1).

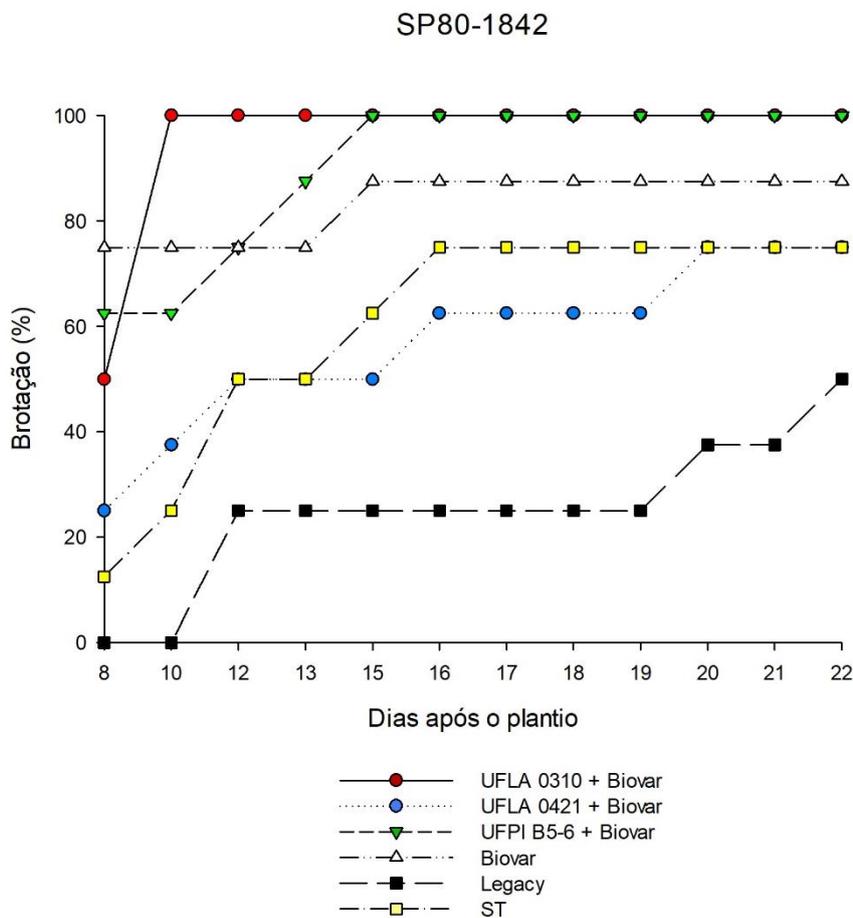
Figura 1 – Porcentagem de brotação da RB867515 em relação aos tratamentos.



Fonte: Do autor (2021).

Já para a cultivar SP80-1842, tanto a estirpe UFLA 03-10 quanto a UFPI B5-6 apresentaram resultados superiores ao tratamento controle com Super Triplo. Esse mesmo resultado pode ter tido o efeito da ação dos fitormônios produzidos pelas estirpes. O tratamento Legacy foi o que apresentou menor porcentagem de brotação. Isso pode ser explicado pois o número dessas bactérias presentes no solo não é considerado suficiente para competir com outras bactérias que já se encontram estabelecidas no ambiente (IGUAL et al., 2001) (Figura 2).

Figura 2 – Porcentagem de brotação da SP80-1842 em relação aos tratamentos.



Fonte: Do autor (2021).

A interação das variedades e fontes de P não foram significativas para índice SPAD, massa fresca de raiz (MFR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) ($p > 0,05$). No entanto, as variáveis índice SPAD, massa fresca de raiz e massa seca de parte aérea apresentaram efeitos significativos ($p < 0,05$) para os fatores variedades e/ou fontes de P (Apêndice A).

As variedades SP80-1842 e RB867515 apresentaram o maior e o menor índice SPAD, respectivamente. A variedade SP80-1842 apresentou a maior massa fresca de raiz e a variedade RB867515 apresentou a menor massa fresca de raiz. Para a massa seca da parte aérea, não houve diferenças estatísticas entre as duas variedades (Tabela 4). A variedade SP80-1842 é conhecida por ter um crescimento rápido, o que pode ter influenciado no seu melhor desempenho, em relação à RB867515.

Tabela 4 – Índice SPAD, massa fresca de raiz (MFR) e massa seca de parte aérea (MSPA) em função das variedades SP80-1842 e RB867515.

Variedade	SPAD	MFR	MSPA
SP80-1842	45,11 a	75,33 a	34,75 a
RB867515	37,62 b	62,78 b	34,79 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).
Fonte: Do autor (2021).

Em relação a interação entre os tratamentos e as variedades de cana, percebe-se que houve efeito significativo ($p < 0,05$) para a inoculação da estirpe UFLA 04-21 no índice SPAD. Já para MRF, houve efeito da inoculação com as estirpes UFLA 03-10 e UFPI B5-6. Para a MSPA, houve efeito significativo da inoculação com a estirpe UFLA 04-21, enquanto o Legacy apresentou a menor quantidade de massa seca da parte aérea. Isso está relacionado ao baixo teor de fósforo presente no solo e à falta de inoculação com as estirpes nesse tratamento, resultando em um menor desempenho da planta (Tabela 5).

Segundo Leite (2019), em seu experimento realizado com fertilizantes à base de diferentes concentrações de biocarvão e inoculação de estirpes de bactérias que solubilizam fósforo (UFLA 03-10 *Paenibacillus kribbensis*; UFLA 04-155 *Burkholderia fungorum* e UFPI B5-8A (*Pseudomonas sp*), na cultura do milho, a inoculação aumentou a matéria seca da parte aérea. Tais estirpes, além da capacidade solubilizadora de fosfato, podem contribuir para o desenvolvimento das plantas, através da produção de fitohormônios (COSTA et al., 2013; OLIVEIRA-LONGATTI et al., 2013, 2014).

Costa et al. (2015), utilizando as estirpes UFLA 04-21 (*Burkholderia sp*), UFLA 04-155 (*Burkholderia fungorum*), UFLA 03-10 (*Paenibacillus kribbensis*), UFPI B5-6 (*Enterobacter sp*) e UFPI B5-8A (*Pseudomonas sp*), com o objetivo de avaliar a eficiência de bactérias solubilizadoras de fosfato em aumentar o crescimento e o acúmulo de fósforo, em plantas de arroz cultivadas em Latossolo com fosfato natural (Biovar), concluiu que as estirpes UFLA 04-21, UFPI B5-6, UFLA 03-10 e UFPI B5-8A foram capazes de aumentar o

crescimento da planta e o acúmulo de nutrientes. Essas quatro estirpes promoveram incrementos de produção semelhantes de massa seca tanto da parte aérea quanto da raiz, sendo que esses foram maiores do que os observados para o tratamento com Biovar sem inoculação.

Tabela 5 – Índice SPAD, massa fresca de raiz (MFR) e massa seca de parte aérea (MSPA) das variedades SP80-1842 e RB867515 em função das fontes de P: UFLA 03-10 + Biovar, UFLA 04-21 + Biovar, UFPI B5-6 + Biovar, Biovar, Legacy e ST.

Fonte de P	SPAD	MFR	MSPA
UFLA 03-10 + Biovar	42,54 a	83,13 a	38,25 a
UFLA 04-21 + Biovar	37,15 b	65,38 b	32,63 b
UFPI B5-6 + Biovar	41,93 a	72,75 a	40,88 a
Biovar	44,78 a	60,25 b	33,63 a
Legacy	42,26 a	53,29 b	20,13 c
ST	39,55 b	79,54 a	43,13 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).
Fonte: Do autor (2021).

Tanto para a variedade SP80-1842 quanto para a RB867515, os tratamentos UFLA com as estirpes UFLA 03-10, UFLA 04-21, UFPI B5-6, Biovar e ST apresentaram a mesma quantidade de MFPA. Em ambas as variedades, o tratamento Legacy apresentou a menor quantidade de MFPA. Porém, em se tratando do tratamento Legacy, a variedade SP80-1842 apresentou a maior MFPA (Tabela 6). De acordo com Igual et al. (2001), isso pode ser explicado uma vez que o número das bactérias solubilizadoras de fosfato presentes no solo não é considerado o suficiente para competir com outras bactérias que já se encontram estabelecidas no ambiente, o que pode resultar no menor desempenho do tratamento.

Tabela 6 – Massa fresca de parte aérea (MFPA) em função da interação de variedades (SP80-1842 e RB867515) e fontes de P (UFLA 03-10 + Biovar, UFLA 04-21 + Biovar, UFPI B5-6 + Biovar, Biovar, Legacy e ST).

Variedades	Fonte de P					
	UFLA 03-10+ Biovar	UFLA 04-21+ Biovar	UFPI B5-6+ Biovar	Biovar	Legacy	ST
SP80-1842	152,00 aA	138,00 aA	144,50 aA	132,00 Aa	97,25 aB	169,75 aA
RB867515	167,25 aA	161,00 aA	151,75 aA	126,67 Aa	32,33 bB	169,00 aA

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas não diferem teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor (2021).

Para o teor de Fósforo (P) na parte aérea da planta, houve efeito da inoculação para as estirpes UFLA 04-21 e UFPI B5-6 (Tabela 7). Para a variedade SP80-1842, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Já para a variedade RB867515, os tratamentos UFLA 04-21, UFPI B5-6 e Super Triplo apresentaram a maior quantidade de fósforo.

No trabalho realizado por Leite (2019), a inoculação aumentou o acúmulo de fósforo na parte aérea da planta. A interação das doses de P e a inoculação não foi significativa para a matéria seca e a acumulação de P. No entanto, a inoculação foi significativa para o aumento da matéria seca do milho em 8%.

No trabalho realizado por Costa et al. (2015), os tratamentos que foram inoculados com as estirpes UFLA 04-21, UFLA 03-10, UFPI B5-6 e UFPI B5-8A apresentaram uma acumulação significativa de fósforo, quando comparado ao tratamento com Biovar sem inoculação. O mesmo aconteceu para os tratamentos 50 e 100 mg P_2O_5 dm^{-3} de fosfato solúvel.

Tabela 7 – Fósforo da parte aérea da planta em função da interação de variedades (SP80-1842 e RB867515) e fontes de P (UFLA 03-10 + Biovar, UFLA 04-21 + Biovar, UFPI B5-6 + Biovar, Biovar, Legacy e ST).

Variedades	Fonte de P					
	UFLA 03-10+ Biovar	UFLA 04-21+ Biovar	UFPI B5-6+ Biovar	Biovar	Legacy	ST
SP80-1842	1411,07 aA	1352,75 bA	1181,93 bA	1358,56 aA	1528,19 aA	1561,01 aA
RB867515	1185,50 aB	1768,45 aA	1708,65 aA	1416,07 aB	1273,98 aB	1900,16 aA

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas não diferem teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor (2021).

Para a variável altura, a interação entre fontes de P e variedades foi significativa ($p < 0,05$). Para a variedade RB867515, os tratamentos que apresentaram as maiores alturas foram UFLA 03-10, UFLA 04-21 e UFPI B5-6, quando comparada à SP80-1842. Os tratamentos Biovar e Super Triplo não se diferiram estatisticamente. Para o tratamento Legacy, a variedade SP80-1842 apresentou maior altura do que a RB867515. Para a variedade SP80-1842, a altura foi igual estatisticamente para todos os tratamentos. Já para a RB867515, o tratamento Legacy apresentou a menor altura, sendo que os demais tratamentos não se diferiram estatisticamente (Tabela 8).

Tabela 8 – Altura em função da interação de variedades (SP80-1842 e RB867515) e fontes de P (UFLA 03-10 + Biovar, UFLA 04-21 + Biovar, UFPI B5-6 + Biovar, Biovar, Legacy e ST).

Variedades	Bactérias					
	UFLA 03-10	UFLA 04-21	UFPI B5-6	Biovar	Legacy	ST
SP80-1842	44,25 bA	45,25 bA	45,75 bA	44,00 aA	39,50 aA	49,50 aA
RB867515	53,50 aA	54,25 aA	52,75 aA	49,33 aA	24,67 bB	56,67 aA

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas não diferem teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

Fonte: Do autor (2021).

O presente estudo mostra que é possível, de forma gradual, substituir fertilizantes químicos por biofertilizantes. No entanto, são necessárias otimizações no sistema, para que fique melhor definido. Além disso, como a inoculação pode aumentar o nível de fósforo no solo, sua eficiência pode ser aumentada ao longo dos anos no sistema na cana-de-açúcar, visto que a cana é uma cultura semi-perene. Como as demais culturas semi-perenes, a cana requer balanço nutricional adequado, principalmente referente à instalação da cultura no campo. Dessa forma, o aumento de P no solo ajudará nas próximas instalações em campo, visto que os canaviais são reformados a cada cinco anos, no geral. Dessa forma, o fósforo estará presente em campo quando a cultura necessitar, com maior sustentabilidade e economia.

Considerando o risco de esgotamento das reservas de fosfato mais concentrados, aliado ao alto custo dos fertilizantes provenientes desses fosfatos, é importante o uso de métodos alternativos, como o apresentado no presente trabalho, que possa substituir, parcialmente, os fertilizantes fosfatados. Logo, o uso combinado das bactérias que são capazes de solubilizar fosfato insolúvel é uma estratégia a ser seguida.

5. CONCLUSÕES

A massa fresca de raiz foi maior nas duas variedades (SP80-1842 e RB867515) com os tratamentos com as estirpes UFLA 03-10 e UFPI B5-6. Já o teor de fósforo na parte aérea da planta foi maior na cultivar RB867515, quando inoculado com as estirpes UFPI B5-6 e a UFLA 04-21.

Devido ao risco de esgotamento das reservas de fosfato mais concentrados e o ao alto custo dos fertilizantes fosfatados, métodos alternativos que combinem o uso de fosfatos insolúveis com bactérias que são capazes de solubilizar essas fosfatos, são estratégias que devem ser seguidas, de modo que se possa substituir, parcialmente, os fertilizantes fosfatados. Em especial, para a cana-de-açúcar, poucos são os estudos sobre a solubilização de fósforo e, devido a sua grande expressão econômica, devem-se maximizar os estudos para possibilitar um maior benefício para a cultura.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ et al., 1960 ALVAREZ, R.; AMARAL, A.Z.; ARRUDA, H.V. Ensaio de adubação N-P-K em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v.19, p.1061-1069, 1960.
- ALVAREZ, R.; PACHECO, J.A. Adubação da cana-de-açúcar: VII. Ensaio preliminar de adubação N-P-K no arenito Bauru. **Bragantia**, v.22, p.193-199, 1963.
- BERGAMASHI, C. **Ocorrência de bactérias diazotróficas associadas a raízes e colmos de cultivares de sorgo**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 83p. Dissertação (Mestrado).
- BOJINOVA et al., 2008: BOJINOVA, D.; VELKOVA, R.; IVANOVA, R. Solubilization of Morocco phosphorite by *Aspergillus niger*. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, p. 7348-7353, 2008.
- BRADY, C. N.; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, p. 463, 2013.
- CAIONE, G.; PRADO, R. M.; CAMPOS, C. N. S.; MODA, L. R.; VASCONCELOS, R. L.; PIZAURO JÚNIOR, J. M. Response of sugarcane in a red ultisol to phosphorus rates, phosphorus sources, and filter cake. **The Scientific World Journal**, New York, v. 2015, n.1, p. 1–10, 2015.
- CALDAS, C.; BORÉM, A.; BRAGA JUNIOR, R. L. do C.; DAL'COL LÚCIO, A. Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1413-1421, 2012.
- CANA ONLINE. **CTC 4 deverá ser a variedade de cana mais plantada na região Centro-Sul em 2020**. 2020. Disponível: <<http://www.canaonline.com.br/conteudo/ctc-4-devera-ser-a-variedade-de-cana-mais-plantada-na-regiao-centro-sul-em-2020.html#:~:text=O%20baixo%20C3%ADndice%20de%20renova%20C3%A7%C3%A3o,figuraram%20na%20casa%20dos%2015%25>>. Acesso em 7 mar. 2021.
- CHABOT, R.; ANTOUN, H.; CESCAS, M. P. Stimulation de la croissance du maïs et de la laitue romaine par des microorganismes dissolvant le phosphore inorganique. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 39, p. 941-947, 1993.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB . **Acompanhamento da Safra Brasileira Cana – Safra 2019/20**, v. 7, n.1, p. 1-62. Primeiro levantamento, Brasília, maio de 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em 27 set. 2020.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB . **Acompanhamento da Safra Brasileira Cana – Safra 2018/19**, v. 5, n.1, p. 1-62. Primeiro levantamento, Brasília, maio de 2018, 2018. Boletim da safra de cana-de-açúcar. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de->

acucar/item/download/17727_4e54c5103a0ab4a15529e35307c79b2e>. Acesso em 7 de mar. de 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Produção de etanol deve chegar a 35,5 bilhões de litros e consumirá 65% da safra.** Brasília, 19 de dez. 2019.

Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3202-producao-de-etanol-deve-chegar-a-35-5-bilhoes-de-litros-e-consumira-65-da-cana-moida>>. Acesso em 27 set. 2020.

COSTA, E. M.; NÓBREGA, R. S. A.; CARVALHO, F.; TROCHMANN, A., FERREIRA, L. V. M.; MOREIRA, F. M. S. Plant growth promotion and genetic diversity of bactéria isolated from cowpea nodules. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p. 1275-1284, 2013.

COSTA, E. M.; LIMA, W.; OLIVEIRA-LONGATTI, S. M.; SOUZA, F. M. Phosphate-solubilising bacteria enhance *Oryza sativa* growth and nutrient accumulation in na oxisol fertilized with rock phosphate. **Ecological Engineering**, v. 83, p. 380-385, 2015.

DIAS, L. A. dos S. Biofuel plants pecies and the contribution of genetic improvement. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, p.16-26, 2011.

DIAS, P. R.; GATIBONI, L.C.; ERNANI, P.R.; MIQUELLUTI, D.J.; CHAVES, D.M.; BRUNETTO, G. Partial substitution of soluble phosphate by rock phosphate in the planting of *Eucalyptus benthamii* and *Eucalyptus dunnii* in southem Brazil. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 38, p. 516-523, 2014.

FAGERIA, N.K; BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. Influence of phosphate rock sources and rates on rice and commom bean production in an Oxisol. **Plant Soil**, v. 45, p. 539-546, 1991.

FERREIRA, D.F. **Sistema de análises estatísticas – SIVAR**. Versão 5.3. Departamento de Ciências Exatas. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Faostat Crops Data**. 2019. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em 27 set. 2020.

FRED, E.B.; WAKSMAN, S.A. Laboratory Manual of General Microbiology: with Special Reference to the Microorganisms of the Soil. **Soil Science**, v. 27, n.3, p. 247, 1928.

GLODOWSKA et al., 2016: GLODOWSKA, M. et al. Biochar is a growth-promoting alternative to peat moss for the inoculation of corn with a pseudomonad. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 1, p. 1–10, 2016.

GOLDSTEIN et al., 2003: GOLDSTEIN, A.; LESTER, T.; BROWN, J. Research on the metabolic engineering of the direct oxidation pathway for extraction of phosphate from ore has generated preliminary evidence for PQQ biosynthesis in *Escherichia coli* as well as a possible role for the highly conserved region of quinoprotein dehydrogenases. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1647, p. 266-271, 2003.

IGUAL, J.M.; VALVERDE, A.; CERVANTES, E.; VELÁSQUEZ, E. Phosphatesolubilizing bactéria as inoculants for agriculture: use of update molecular techniques in their study, **Agronomie**, v.21, p.561-568, 2001.

ILLMER, P. A.; BARBATO, A.; SCHINNER, F. Solubilization of hardly soluble $AlPO_4$ with P-solubilizing microorganisms. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 27, p. 260-270, 1995.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. **Diagnóstico do Setor Sucroenergético em 2014**. São Paulo, 15 out. 2015. Disponível em:
<[JHA, B.; THAKUR, M.C.; GONTIA, I.; ALBRECHT, V.; STOFFELS, M.; SCHMID, M. & HARTMANN, A. Isolation, partial identification and application of diazotrophic rhizobacteria from traditional Indian rice cultivars. **Eur. J. Soil Biol.**, 45: 62-72, 2009.](http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=13797#:~:text=O%20setor%20sucroenerg%C3%A9tico%20brasileiro%2C%20na,de%20empregos%20diretos%20e%20indiretos.>
. Acesso em 29 set. 2019.</p>
</div>
<div data-bbox=)

KHAN et al., 2007: KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; WANI, P. A. Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture. A review. **Agronomy Sustainable Development**, v. 27, p. 29-43, 2007.

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMED, M.; OVES, M.; WANI, P. A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi - current perspective. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 56, n. 1, p. 73-98, 2010.

KIM et al., 1998: KIM, K. Y.; JORDAN, D.; McDONALD, G. A. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 26, p. 79-87, 1998.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: Fósforo na Agricultura Brasileira., 2004, Piracicaba. **Anais...** São Pedro: POTAFOS, 2003. p. 291-305.

KORNDORFER, G.H.; CABEZAS, W.A.L.; HOROWITZ, N. Efficiency of reactive rock phosphates for corn production in Brazil. **Sci. Agric.**, v.56, p. 1-9, 1999.

LANDELL, M.G.A.; XAVIER, M.A.; ANJOS, I.A.; VASCONCELOS, A.C.M.; PINTO, L.R.; CRESTE, S. Manejo varietal em cana-de-açúcar. p.57 - 68. In: SEGATO, S.V. PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. 1º Ed. Piracicaba: ESALQ-USP, 2006. 415 p.

LEITE, A. A.; CARDOSO, A.A.S.; ALMEIDA, R.L.; OLIVEIRA-LONGATTI, S. M.; FILHO, J. F .L.; MOREIRA, F. M. S.; MELO, L. C. A. Selected bacterial strains enhance phosphorus availability from biochar-based rock phosphate fertilizer. **Annals of microbiology**, v. 70, p. 6-19, 2020.

LÉON, L.A.; FENSTER, W.E.; HAMMOND, L.L. Agronomic potential of eleven phosphates rocks from Brazil, Colombia, Perú and Venezuela. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.50, p. 798-802, 1986.

LONGATTI, S.M.; MARRA, L.M.; MOREIRA, F.M. S. Evaluation of plant growth-promoting traits of *Burkholderia* and *Rhizobium* strains isolated from Amazon soils for their co-inoculation in common bean. **African Journal of Microbiology Research** , v.7, p.948-959, 2013.

LONGATTI, S. M.; MARRA, L. M.; SOARES, L. L. B.; BOMFETI, C. A.; SILVA, K.; AVELAR FERREIRA, P. A. A.; MOREIRA, F.M.S. Bacteria isolated from soils of the western Amazon and from rehabilitated bauxite-mining areas have potencial as plant growth promoters. **Word Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.29, p. 1-12, 2014.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162 p.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba : Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS. 1997.

MARIN, F. R. **Variedades de cana-de-açúcar**. Ageitec – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. 2018. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_42_1110200717570.html>. Acesso em 7 mar. 2021

MARRA, L.M.; OLIVEIRA, S.M.; SOARES, C.R.F.S.; MOREIRA, F.M.S. Solubilisation of inorganic phosphates by inoculant strains from tropical legumes. **Sci Agri.**, v. 68, p. 603-609, 2011.

MARRA, L.M.; SOARES, C.R.F.S.; OLIVEIRA, S.M. de; FERREIRA, P.A.A.; SOARES, B.L.; CARVALHO, R. de F.; LIMA, J.M. de; MOREIRA, F.M. de S. Biological nitrogen fixation and phosphate solubilization by bacteria isolated from tropical soils. **Plant and Soil** , v.357, p.289-307, 2012.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic, 1995. 887p.

MEDINA, A.; VASSILEVA, M.; BAREA, J. M.; AZCON, R. The growthenhancement of clover by Aspergillus-treated sugar beet waste and Glomus mosseae inoculation in Zn contaminated soil. **Applied and Soil Ecology**, Amsterdam, v. 33, p. 87-98, 2006.

MENDES, R.; PIZZIRANI-KLEINER, A.A.; ARAUJO, W.L. & RAAIJMAKERS, J.M. Diversity of cultivated endophytic bacteria from sugarcane: Genetic and biochemical characterization of *Burkholderia cepacia* complex isolates. **Appl. Environ. Microbiol.**, 73:7259-7267, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Brasil: projeções do agronegócio 2011/2012 a 2021/2022**. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/Projecoes%20do%20Agronegocio%20Brasil%202011-20012%20a%202021-2022%20\(2\)\(1\).pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/Projecoes%20do%20Agronegocio%20Brasil%202011-20012%20a%202021-2022%20(2)(1).pdf)>. Acesso em 10 nov. 2015.

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

NAHAS, E.; FORNASIERI, D. J.; ASSIS, L. C. Resposta à inoculação de fungo solubilizador de fósforo em milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, p. 463-469, 1994b.

NÓBREGA, J.C.M.; DORNELAS, M.C. Biotecnologia e melhoramento da cana-de-açúcar. p.39 - 56. In: SEGATO, S.V. PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. 1º Ed. Piracicaba: ESALQ-USP, 2006. 415 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, A.L.M.; STOFFELS, M.; SCHMID, M.; REIS, V.M.; BALDANI, J.I. & HARTMANN, A. Colonization of sugarcane plantlets by mixed inoculations with diazotrophic bacteria. **Eur. J. Soil Biol.**, 45:106-113, 2009.

OLIVEIRA, E.C.A.; OLIVEIRA, R.I.; ANDRADE, B.M.T.; FREIRE, F.J.; LIRA JÚNIOR, M.A.; MACHADO, P.R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.951-960, 2010.

PRAKAMHANG, J.; MINAMISAW, K.; TEAMTAISON, K.; BOONKERD, N. & TEAUMROONG, N. The communities of endophytic diazotrophic bacteria in cultivated rice (*Oryza sativa* L.). **Appl. Soil Ecol.**, 42:141-149, 2009.

PUPULIN, C. **Censo varietal dos canaviais mostra realidade dos últimos anos**. 2020. Disponível em: <<http://www.ideonline.com.br/conteudo/censo-varietal-dos-canaviais-mostra-realidade-dos-ultimos-anos.html>>. Acesso em 7 mar. 2021.

RAFIQUE et al., 2017: RAFIQUE, M. et al. Enhancement of maize plant growth with inoculation of phosphatesolubilizing bacteria and biochar amendment in soil. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 63, n. 5, p. 460-469, 2017.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAJANKAR, P. N.; TAMBEKAR, D. H.; WATE, S. R. Study of phosphate solubilization efficiencies of fungi and bacteria isolated from saline belt of Purna river basin. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 3, p. 701-703, 2007.

REIS, T. H. P. **Dinâmica e disponibilidade de fósforo em solos cultivados com café em produção**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2009. Disponível em <<https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-102960/dinamica-e-disponibilidade-de-fosforo-em-solos-cultivados-com-cafeeiro-em-producao>>. Acesso em 04 out. 2020.

REMANS, R.; BEEBE, S.; BLAIR, M.; MANRIQUE, G.; TOVAR, E.; RAO, I.; CROONENBORGH, A.; TORRES-GUTIERREZ, R.; EL-HOWEITY, M.; MICHIELS, J.; VANDERLEYDEN, J. Physiological and genetic analysis of root responsiveness to auxin-producing plant growth promoting bacteria in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, v. 302, p. 149-161, 2007.

- REZENDE, C. G. B.; SILVA, E. M. B.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; SCHLICHTING, A. F. Fosfato natural reativo na adubação do capim piatã em Latossolo Vermelho do Cerrado. **Revista Agrarian**, v.9, n.31, p.55 - 62, 2016.
- RICHARDSON, 2009: RICHARDSON, A. E. et al. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. **Plant and Soil**, v. 321, n. 1–2, p. 305–339, 2009.
- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba. Ed. Barros & Marques Editoração Eletrônica, 2004. 302p.
- RODRIGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, New York, v.17, p. 319-339, 1999.
- SAMPAIO, M.S. Avaliação do comportamento da variabilidade espacial do fósforo remanescente no solo de lavoura cafeeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15., Curitiba, 2011. **Anais...** Curitiba, INPE, 2011. p.9203-9210.
- SANTOS et al., 2006: SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p. Disponível em <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/338818>>. Acesso em 27 set. 2020.
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p. Disponível em <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/338818>>. Acesso em 27 set. 2020.
- SCHOLZ, R. W.; ULRICH, A.E.; EILITTÄ, M.; ROY, A. Sustainable use of phosphorus: A finite resource. **Science of the Total Environment**, v. 461, p. 799–803, 2013.
- SHARPLEY, A.N.; MENZEL, R.G. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. **Advances in Agronomy**, v.41, p.297-324, 1987
- SILVA, M.A., SANTOS, C.M., ARANTES, M.T., PINCELLI, R.P. Fenologia da cana-de-açúcar. 2010. In: **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. CRUSCIOL, C.A.C et al. (Eds.). Botucatu: FEPAF. p.8-21.
- SINGH; KAPOOR, 1999: SINGH, S.; KAPOOR, K. K. Inoculation with phosphate solubilizing microorganisms and a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 28, p. 139-144, 1999.
- SOUSA, D.M.G. de.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S. (Eds.) **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p.157-200

SPERBER J.I. Solution of apatite by soil microorganisms producing organic acids. **Australian Journal Agricultural Research**. 9:782-787

STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S.; JÚNIOR, W. P. S.; DIAS, S. L. Biofertilizantes de rocha fosfatada com acidithiobacillus como adubação alternativa de caupi em solo com baixo P disponível. **Revista Analytica**, v. 9, p. 48-53, 2004.

SRINIVASAN, R.; AJJANNA R. ALAGAWADI, A. R.; MAHESH S.; YANDIGERI, M. S.; MEENA, K. K.; SAXENA, A. K. Characterization of phosphate-solubilizing microorganisms from salt-affected soils of India and their effect on growth of sorghum plants [Sorghum bicolor (L.) Moench]. **Annals of Microbiology**, v. 62, p. 93–105, 2012.

TRABELSI, D. et al. Fertilization of Phaseolus vulgaris with the Tunisian rock phosphate affects richness and structure of rhizosphere bacterial communities. **Applied Soil Ecology**, v. 114, p. 1–8, 2017.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA . **Balço de Atividades 2012/13 a 2018/19**. 2019. Disponível em: <<https://www.unica.com.br/wp-content/uploads/2019/06/Relatorio-Atividades-201213-a-201819.pdf>>. Acesso em 4 out. 2020.

UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA – UDOP. **Características Agronômicas mais Marcantes das Principais Variedades de Cana da Região Centro-Sul**. 2004. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/index.php?item=caracteristicas>>. Acesso em 7 maio de 2020.

VASSILEVA et al., 2010: VASSILEVA, M.; SERRANO, M.; BRAVO, V.; JURADO, E.; NIKOLAEV, I. A; MARTOS, V.; VASSILEV, N. Multifunctional properties of phosphate-solubilizing microorganisms grown on agro-industrial wastes in fermentation and soil conditions. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 85, p. 1287-1299, 2010.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A. **Planejamento, estratégias de manejo e nutrição da cultura de cana-de açúcar**. Piracicaba: POTAFOS, 2002. 16p. (Encarte técnico/Informações Agronômicas, 97).

WEI et al., 2016: WEI, Y. et al. An optimized regulating method for composting phosphorus fractions transformation based on biochar addition and phosphate-solubilizing bacteria inoculation. **Bioresource Technology**, v. 221, p. 139–146, 2016.

WHITELAW, M. A. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. **Advances in Agronomy**, v. 69, p. 99-151, 1999.

APÊNDICE A – Análises de variância

Tabela 9 – Análise de variância para (SPAD), (MFPA), (MFR) e (MSPA) em função de variedade e fontes de P.

FV	GL	QM			
		SPAD	MFPA	MFR	MSPA
Variedade	1	673,20**	216,75	1891,78**	0,02
Fonte de P	5	56,38**	11380,26**	1057,83**	543,32**
Variedade*Fonte de P	5	20,37	1979,61**	333,26	112,12
Bloco	3	6,14	346,58	910,20	45,69
Resíduo	33	17,38	581,14	389,81	56,98
CV (%)		10,08%	17,62%	28,59%	21,71%

QM: quadrado médio; FV: fonte de variação; CV: coeficiente de variação; GL: graus de liberdade.

**Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2021).

Tabela 10 – Análise de variância para (SPAD), (MFPA), (MFR) e (MSPA) em função de variedade e fontes de P.

FV	GL	QM		
		MSR	P	Altura
Variedade	1	0,08	246129,30	175,07**
Fonte de P	5	136,22	188472,16	439,81**
Variedade*Fonte de P	5	98,22	224407,19**	171,13**
Bloco	3	181,66	132000,44	76,44
Resíduo	33	71,59	80233,76	32,77
CV (%)		26,30%	19,26%	12,28%

QM: quadrado médio; FV: fonte de variação; CV: coeficiente de variação; GL: graus de liberdade.

**Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Do autor (2021).