



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO**

**O PAPEL DOS MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE
FÓSFORO NO MANEJO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE
LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA**

EDDY DA SILVA

Rio Verde – GO

Abril – 2023



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

O PAPEL DOS MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO NO MANEJO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

EDDY DA SILVA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação *Latu Sensu*: Especialização em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de conclusão da Especialização.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Castoldi – IF Goiano

Rio Verde – GO

Abril – 2023



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

O PAPEL DOS MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO NO MANEJO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

EDDY DA SILVA

Trabalho de conclusão do curso de *Latu Sensu*: Especialização em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, como requisito a obtenção do Certificado de conclusão da Especialização em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, aprovado pela seguinte banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Gustavo Castoldi – IF Goiano

Examinadores:

Profa. Dra. Layara Bessa – IF Goiano

Prof. Dr. Edson Souchie – IF Goiano

Rio Verde – GO

Abril – 2023



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

DEDICATÓRIA

Dedico esta revisão de literatura a Deus, criador do nosso Universo. Senti sua presença ao meu lado durante todo o projeto de pesquisa.

Honro o fechamento deste ciclo dedicando a minha revisão de literatura aos colegas Francisco, Vitor, Janara e Luciano que sempre estiveram ao meu lado compartilhando sua experiência de forma construtiva. Gratidão.

Ao professor Gustavo Castoldi que me auxiliou na germinação das ideias e durante todo o processo de desenvolvimento deste presente projeto.

Sou grato ao professor Tiago Paim pelo incentivo durante todo o projeto. Sua motivação foi essencial para a conclusão da revisão de literatura.

Dedico este trabalho de pesquisa aos meus pais. Sua grande força foi a mola propulsora que permitiu o meu avanço, mesmo durante os momentos mais difíceis. Agradeço do fundo do meu coração.

Dedico este projeto de pesquisa aos meus avós, meus maiores incentivadores desde o início.

Dedico este trabalho de pesquisa a minha amiga Gabriella que foi uma fonte inesgotável de apoio técnico durante todo o processo. Obrigado por tudo.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador Gustavo Castoldi, pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa.

Também quero agradecer ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

Gratidão a vovô, Emanuel Silva por sempre estar ao meu lado, pelos conselhos, apoio e por me fazer ter confiança nas minhas decisões.

Agradeço à minha namorada que sempre esteve ao meu lado durante o meu percurso acadêmico.

Aos meus irmãos Elly, Elisonaldo, Elaine e Luís pela amizade e atenção dedicadas quando sempre precisei.

A todos os meus amigos do curso da pós-graduação que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo.

Agradeço a meu amigo, mentor e pai, Gilberto Braga, que sempre me ajudou com sua vasta experiência desde o início deste projeto de pesquisa.

Também agradeço aos funcionários do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano que contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho.



SUMÁRIO

Página

RESUMO	2
1 INTRODUÇÃO	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1 SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA	7
2.2 FÓSFORO NA AGRICULTURA E SUA DINÂMICA NO SOLO	13
2.3 MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO	18
2.4 MECANISMOS UTILIZADOS PARA SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO INORGÂNICO	24
2.4.1 <i>Produção de ácido orgânicos</i>	24
2.4.2 <i>Produção de ácido inorgânico e H₂S</i>	24
2.4.3 <i>Liberção de prótons do NH₄⁺ (assimilação/respiração)</i>	24
2.4.4 <i>Mecanismos indiretos</i>	24
2.4.5 <i>Via de Oxidação direta</i>	25
2.4.6 <i>Produção de exopolissacarídeo (EPS)</i>	25
2.4.7 <i>Produção de sideróforos</i>	25
2.4.8 <i>mecanismo de solubilização de fosfato pelos msps</i>	25
2.5 MECANISMOS UTILIZADOS PARA SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO ORGÂNICO.....	26
2.5.1 <i>Fosfatases ácidas não específicas (NSAPs)</i> :.....	26
2.5.2 <i>Fitases</i>	26
2.5.3 <i>Fosfonatases/Liases de Carbono-Fósforo (C-P)</i>	27
2.6 INTERAÇÃO ENTRE BACTÉRIAS E FUNGOS NA SOLUBILIZAÇÃO DE P INSOLÚVEL	27
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
4 REFERÊNCIAS	31



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

**O PAPEL DOS MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE
FÓSFORO NO MANEJO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE
LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA**



RESUMO

O elemento químico fósforo é classificado como um macronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas e devido à sua baixa solubilidade nos solos fica pouco disponível para uso. Como resultado, a produção global de alimentos está inextricavelmente ligada a fertilizantes. Nesse contexto, existe a possibilidade de utilizar microrganismos solubilizadores de fosfatos para promover um aumento na disponibilidade de fósforo no solo. Este artigo objetivou analisar, com base em uma revisão bibliográfica, a atuação dos microrganismos solubilizadores de fósforo na integração lavoura-pecuária-floresta. Esta pesquisa possui abordagem qualitativa, básica e exploratória, por meio de revisão bibliográfica. O estudo conclui que o uso de inoculantes microbianos pode ser considerado uma técnica para aumentar a composição biológica dos sistemas de produção integrados, garantindo a saúde do solo por meio da redução do uso de fertilizantes sintéticos e adição de microrganismos benéficos.

Palavras-chave: *Bacillus megaterium*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *Bradyrhizobium* ssp., *Pseudomonas fluorescens*, Sistemas de produção, solubilizadores de fósforo, *Trichoderma* ssp.

ABSTRACT

The chemical element phosphorus is classified as an essential macronutrient for the development of plants and, due to its low solubility in soils, it is little available for use. As a result, global food production is inextricably linked to fertilizer. In this context, there is the possibility of using phosphate solubilizing microorganisms to promote an increase in phosphorus availability in the soil. This article intended to analyze, based on a bibliographic review, the role of phosphorus solubilizing microorganisms in crop-livestock-forestry integration. This research has a qualitative, basic and exploratory approach, through a bibliographic review. The study concludes that the use of microbial inoculants can be considered a technique to increase the biological composition of integrated production systems, ensuring soil health by reducing the use of synthetic fertilizers and adding herbal medicines.

Keywords: *Bacillus megaterium*, *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *Bradyrhizobium* ssp., *Pseudomonas fluorescens*, Production systems, integration, phosphorus solubilizer, *Trichoderma* ssp.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO**



1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o país com maior potencial de expansão agrícola do mundo e, nos próximos cinco anos, deve se tornar o maior exportador mundial de grãos, à frente dos Estados Unidos. A agricultura brasileira alimentou quase 800 milhões de pessoas em 2020, e enquanto a produção mundial de grãos aumentou 2,05% ao ano (no período 2011-2020), o Brasil cresceu 5,33%, mais que o dobro da taxa global (CONTINI; ARAGÃO, 2020).

Um fator importante a se considerar é que o sistema de produção agrícola do Brasil ainda é afetado pela baixa fertilidade do solo, resultando no alto uso de fertilizantes químicos sintéticos, o que não só aumenta a dependência de insumos importados, mas também aumenta os custos econômicos e ambientais da produção (GLOBALFERT, 2021).

Para atender às necessidades nutricionais do agronegócio em todo o país, é importado em média 70% de fertilizantes nitrogenados e fosfatados e mais de 95% de fertilizantes potássicos (GLOBALFERT, 2021), sendo o quarto maior consumidor de fertilizantes global, depois da China, Índia e Estados Unidos.

O crescimento das plantas é drasticamente retardado quando o fósforo (P) é deficiente. A falta deste elemento interfere na fotossíntese, respiração, armazenamento de energia, transferência e até mesmo na divisão celular e no crescimento das células vegetais (PRIMAVERSI, 2002).

O P torna-se essencial principalmente em plantas de ciclo curto, como a soja. De acordo com Pereira et al. (2009), o P é considerado um nutriente de baixa mobilidade no solo, comportamento associado ao teor de argila presente no solo. Estima-se que cerca de 70% do P aplicado por meio de fertilizantes minerais ou orgânicos se acumula no solo em formas não prontamente disponíveis para as plantas (PAVINATO et al., 2020).

Dentro dos sistemas agrícolas, vêm sendo cada vez mais incorporado as integrações entre plantas florestais, agrícolas e a pecuária, por meio da interação de seus componentes. Esse cenário pode levar a aumento da produtividade e sustentabilidade do setor agropecuário. O sistema Integrado Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) é utilizado em todo o Brasil, com maior demanda nas regiões Centro-Oeste e Sul, representando cerca de 2 milhões de hectares usando diferentes modelos da estratégia ILPF, com estimativa de disponibilidade em mais de 20 milhões de hectares nos próximos 20 anos (EMBRAPA, 2019).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Um fator importante no estudo de sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta é a adubação sistemática, que deve ser feita para maximizar a eficiência dos nutrientes aplicados. Neste contexto, é importante compreender o manuseio da fertilidade do solo, diagnóstico nutricional e técnicas de correção para diferentes componentes (anual, perene e forrageiro). Com relação aos teores de P necessários para o adequado funcionamento das plantas, os microrganismos solubilizadores de fosfato possuem a capacidade de solubilizar fosfatos minerais que foram fixados em solos e não podem ser absorvidos pelas plantas; portanto, seu papel ecológico é essencial (PINEDA, 2014). Na interação existente entre o microrganismo e a planta, os microrganismos fornecem fosfato solúvel para as plantas e estas liberam açúcares e ácidos orgânicos, indispensáveis para o crescimento bacteriano (CARVALHO, et al., 2016).

Diante do exposto, o objetivo do artigo é analisar – com base em uma revisão bibliográfica - o papel dos microrganismos solubilizadores de P na integração lavoura-pecuária-floresta.

Como métodos, esta pesquisa corresponde à um artigo de revisão, com abordagem qualitativa, básica e exploratória, por meio de pesquisa bibliográfica, tais como livros, sites, revistas, periódicos e experiência de técnica.



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO**



2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA

A intensificação do uso da terra em áreas já antropizadas é uma das alternativas mais aceitas pelos diferentes pesquisadores. O Brasil é um dos países com maior potencial de expansão de área para atender a demanda crescente de alimentos e biocombustíveis. No entanto, no sistema de produção intensificado não deve ser sinônimo de uso excessivo ou indiscriminado de recursos produtivos (BALBINO et al., 2011).

Para uma agricultura mais sustentável deve-se envolver o manejo eficiente dos recursos disponíveis para satisfazer as crescentes aspirações de uma também crescente população, mantendo ou melhorando a qualidade do ambiente e conservando os recursos naturais. A sustentabilidade só será verificada se o sistema preconizado for tecnicamente eficiente, ambientalmente adequado, economicamente viável e socialmente aceito (BALBINO et al., 2011).

O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (SIPA) é a combinação da agricultura, pecuária e floresta plantada em uma mesma área, com plantios e extrações em diferentes períodos, visando a manutenção do solo coberto, bem-estar para os animais, aproveitamento da área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema e maior ciclagem de nutrientes, além de recuperação e intensificação do uso de pastagens.

Busca-se intensificar e compartilhar os benefícios gerados pela sinergia da integração das diferentes atividades combinadas em quatro modalidades de sistemas de produção: integração lavoura-pecuária (ILP), ou sistema agropastoril; integração lavoura-floresta (ILF) ou silviagrícola; integração pecuária-floresta (IPF), ou silvipastoril; e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), ou agrossilvipastoril. (ALMEIDA et al., 2012; BALBINO et al., 2011; KICHEL, 2012; SKORUPA, MANZATTO, 2020) sendo elas caracterizadas da seguinte maneira:

Integração Lavoura-Pecuária (Agropastoril): sistema que integra os componentes lavoura e pecuária em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área, em um mesmo ano agrícola ou em múltiplos anos;

- a) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (Agrossilvipastoril): sistema que integra os sistemas, lavoura, pecuária e silvicultura em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

área. Nessa modalidade o componente lavoura restringe-se (ou não) à fase inicial de implantação do componente florestal;

- b) Integração Pecuária-Floresta (Silvipastoril): sistema que integra os componentes pecuária e floresta em consórcio;
- c) Integração Lavoura-Floresta (Silviagrícola): sistema que integra os sistemas lavoura e floresta pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes).

Entre os benefícios da ILPF estão o aumento da produção em uma mesma área, diversificação de fontes de renda, melhor aproveitamento dos insumos, melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, melhoria do bem-estar animal e geração de emprego e renda no campo. Além disso, os sistemas ILPF reduzem a pressão pela abertura de novas áreas, recuperam áreas degradadas ou com baixa capacidade produtiva e mitigam as emissões de gases causadores de efeito estufa, aumentando o sequestro de carbono no solo e na biomassa (GABRIEL REZENDE FARIA E JOSÉ HEITOR VASCONCELLOS, 2021).

Esta atividade está vinculada a diversificação de receitas, mediante a produção e a venda de grãos, carne, leite, biocombustível, fibras e madeira. O aumento do lucro pelo sistema se deve ao aumento das receitas e à redução do custo total, ao passo que há maior estabilidade temporal da receita diante das externalidades, como riscos climáticos, mercadológicos e impactos ao meio ambiente. Além disso, o sistema maximiza a utilização dos ciclos biológicos das plantas, animais, e seus respectivos resíduos, assim como efeitos residuais de corretivos e nutrientes. Por fim, é possível ainda minimizar e aperfeiçoar a utilização de agroquímicos, gerar emprego, melhorar as condições sociais no meio rural

No solo, a deposição de biomassa das árvores e das gramíneas na superfície consiste num meio importante de ciclagem de nutrientes. Além disso, a disponibilidade de grande quantidade de resíduos orgânicos, em constante renovação pelas árvores e pela pastagem, aumenta os teores de carbono e melhora as condições de agregação e porosidade do solo (LOSS et al., 2011). Silva et al. (2011), ao conduzirem uma pesquisa no Mato Grosso do Sul, sob clima subtropical úmido em um Latossolo, verificaram que a integração lavoura-pecuária, estabelecida num período de oito anos, é capaz de alcançar um novo estado estável equivalente ao sistema sob plantio direto com 23 anos de implantação.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

O ILPF possibilita a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo por meio do aumento da matéria orgânica; dos teores de potássio, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e a respiração basal do solo; e da macroporosidade e redução da resistência a penetração no solo, como observado em algumas pesquisas (ALVARENGA et al., 2010, SOUZA et al., 2019; ASSIS et al., 2019).

Quanto aos animais, o ILPF tem o intuito de reduzir a perda de produtividade quando ocorre o verão, que está associada à prática de correção da fertilidade do solo; reduzir os casos de doenças e ervas daninhas na pastagem e maior aceitabilidade dos animais; aumento significativo do bem-estar animal devido ao conforto térmico; grandes melhorias no uso e aumento do balanço energético positivo e aplicações alternativas em vários sistemas e unidades de produção. Em termos de potencial de produção animal, pode-se atingir de 300 a 700 kg/ha de ganho de peso vivo (FONTANELLI et al., 2019; KICHEL; MIRANDA, 2001).

Devido à colocação de componentes florestais, a força hidrodinâmica é bastante aumentada, o que melhora a distribuição do vapor de água, promove a estabilização da temperatura do ar e da umidade relativa, protegendo assim a superfície do solo. Além da estabilidade térmica dessas árvores e da formação de nuvens que reduzem a incidência da radiação solar, os resíduos que depositam no solo também levam ao armazenamento da água da chuva (PRIMAVESI, 2007).

As espécies florestais mais usadas nesses sistemas são eucaliptos (*Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp.), paricá (*Schyzolobium amazonicum*), grevilea (*Grevillea robusta*), pinus (*Pinus* spp.), teca (*Tectona grandis*), mogno africano (*Kaya ivorensis*), cedro australiano (*Toona ciliata*), canafístula (*Pelthophorum dubium*) e acácia mangium (*Acacia mangium*) que (PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2009).

No que tange a produção da lavoura, pode-se optar pelo plantio de milho em consórcio com a pastagem, seguido da soja ou feijão, visando deixar palhada; ou optar por cultivos de adubos verdes visando o aporte de nitrogênio para a futura pastagem (FONTANELLI et al., 2019).

O sistema ILPF, embora considerado atual, é conhecido e adaptado desde o século XVI, e praticamente desapareceu devido à mecanização e intensificação dos sistemas agrícolas e às enormes dificuldades da colheita manual de frutas (DUPRAZ; LIAGRE, 2008).

Na década de 1990 iniciaram-se algumas pesquisas sobre a integração entre silvipastoril



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

e agrossilvipastoril, e o entendimento da integração da agricultura, silvicultura e pecuária foi muito melhorada. Com as transformações do setor agropecuário, tais como aumento dos custos de produção, surgimento de um mercado mais competitivo, exigência no aumento da produtividade, qualidade e rentabilidade, e sem comprometer o meio ambiente, o uso da integração lavoura-pecuária-floresta ressurgiu como uma importante estratégia (BALBINO et al., 2011).

Se muitos são os benefícios, muitos também são os desafios a serem superados no estabelecimento deste sistema, podendo-se listar a exigência de maior qualificação e dedicação; necessidade de maior investimento financeiro; retorno a médio e longo prazo, especialmente do componente florestal; altos investimentos em infraestrutura para implantação de cada um dos componentes dos sistemas de integração; a produção depende da disponibilidade e manutenção de máquinas e equipamentos; fatores externos (energia, armazenamento e transporte); longas distâncias até as regiões consumidoras e as agroindústrias; dificuldade de aquisição de insumos e comercialização dos produtos; pouca mão-de-obra qualificada; adoção de novas tecnologias exige maior agilidade na validação (KICHEL et al, 2012).

Mesmo evidenciando-se a existência de diversos fatores limitantes, há grande potencial de expansão da adoção de sistemas ILPF em áreas de pastagens, degradadas ou não. As taxas de incremento da adoção junto a pecuaristas nos últimos anos revelam uma tendência promissora, sendo de 10% de novos adeptos a tecnologia nos últimos cinco anos. A Rede ILPF encomendou uma pesquisa à Kleffmann Group 2, em 2015/2016, devido à ausência de dados oficiais no Brasil em relação a: (i) áreas com tecnologia ILPF implantadas; (ii) informações mais amplas sobre a proporção das configurações de ILPF adotadas; e (iii) motivos que levam os produtores a adotarem esses sistemas. A pesquisa mostrou que a ILPF era uma tecnologia em expansão no Brasil.

A pesquisa encomendada pela Rede ILPF e realizada na safra 2015/2016 estimou que o Brasil contava com 11.468.124 ha de sistemas integrados de produção agropecuária (Kleffmann Group, 2015). Um novo estudo estimou que em 2020, a área sob sistemas integrados no Brasil já era de 17.431.533 ha (POLIDORO et al, 2020).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

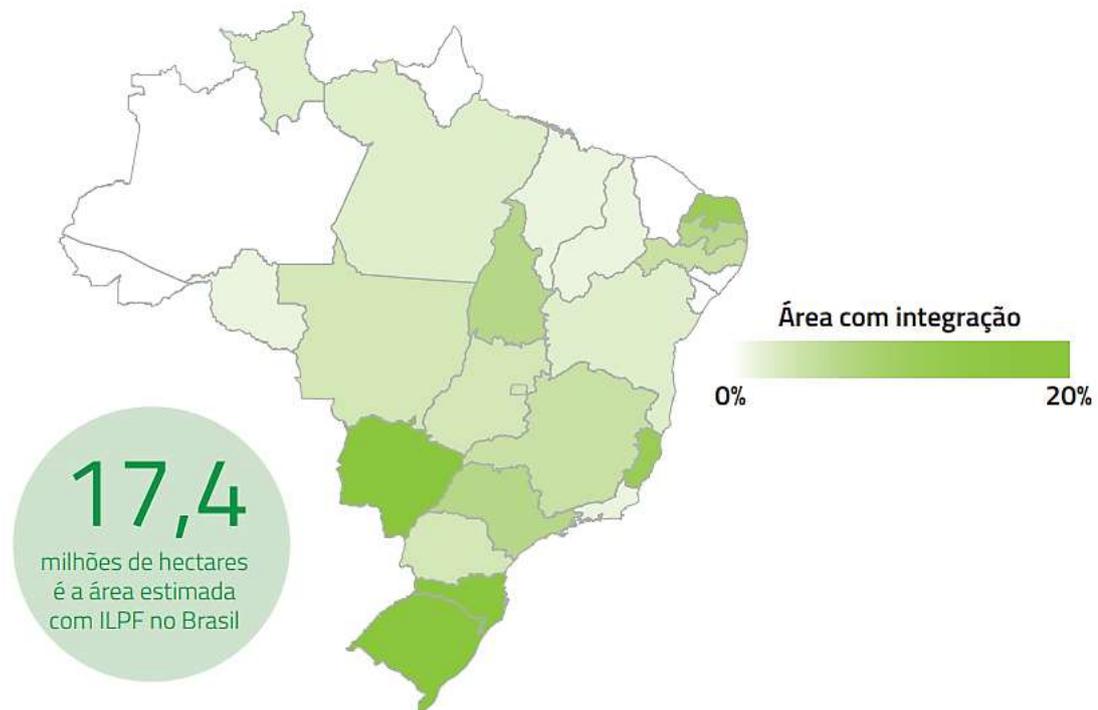


Figura 1: A área destinada aos sistemas ILPF no Brasil em 2020 é estimada em 17,4 milhões de hectares.
Fonte: POLIDORO, FREITAS, HERNANI (2020)

Estima-se que a área total de pastagens no Brasil seja da ordem de 168 milhões de hectares, e que deste total, 48 milhões de hectares estejam degradados ou em processo de degradação (SKORUPA; MANZATO, 2019)

A importância deste sistema está na evolução dos agroecossistemas, com traços de ecossistemas naturais, tornando-os mais diversos e estáveis. O ILPF é eficaz em conciliar desenvolvimento socioeconômico e ecoeficiência, coordenando esforços entre as esferas privadas e públicas (BALBINO et al., 2011).

Os benefícios financeiros e sociais do sistema ILPF incluem o maior ganho e agregação de valor aos produtos; desenvolvimento da oferta de alimentos de qualidade, aumento da produção de leite e redução da sazonalidade da produção; aumento da competitividade no agronegócio brasileiro; incentivo a adoção dos sistemas, independentemente do tamanho da propriedade, aumento da renda dos produtores rurais, redução dos processos de imigração e estímulo à habilitação profissional (BALBINO et al., 2011).

Nesse sentido, torna-se importante conhecer e qualificar os sistemas adotados nas diversas regiões brasileiras, uma vez que para cada região brasileira existe um sistema mais indicado.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Isso porque cada sistema possui exigências quanto a solo, clima, assistência técnica, disponibilidade de insumos, adaptação a região etc. Da mesma maneira, cada cultura também possui exigências próprias, e buscar o ambiente favorável a essa interação é fundamental para o sucesso do sistema e para os diferentes ganhos.

A exemplo disso, Assis et al. (2019), avaliando os atributos químicos e físicos de sistemas de integração em Mato Grosso e Goiás em comparação com pastagens, observaram que os sistemas integrados, com três ou quatro anos de implantação, contribuíram para melhorar a qualidade física do solo em relação a áreas apenas com pastagem.

Souza et al. (2019), estudando os atributos físicos e matéria orgânica em integração lavoura-pecuária, sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 1 linha de eucalipto, sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 3 linhas de eucalipto e plantio exclusivo de eucalipto (bosque), verificaram maior macroporosidade e menor resistência a penetração no tratamento bosque (camada 0,05-0,10m e 0,10-0,20m).

Em relação a melhoria nos atributos químicos, principalmente do P, Diel et al. (2014), comparando a distribuição do P vertical e horizontalmente em floresta plantada de eucalipto; lavoura de soja e milho safrinha consorciado com *Urochloa brizantha* 'Marandu'; pastagem de *U. brizantha*; sistema de ILPF; e duas áreas controle, com floresta nativa e pousio, verificaram que os teores de P disponível (Mehlich-1) foram maiores nas camadas superficiais do solo, nos sistemas com soja/milho safrinha e com ILPF.

Atualmente, além de unir as condições edafoclimáticas favoráveis aos sistemas de ILPF, busca-se também pesquisas afim de potencializar o aproveitamento dos recursos. Dentre estes podemos citar, uso de controle biológico de insetos-pragas e doenças, uso de adubação verde, seleção de espécies mais adaptadas de animais e plantas e mais atual incorporação de bactérias benéficas, como aquelas promotoras de crescimento (DUARTE et al., 2020; SANTI et al., 2013), atenuadoras de estresse hídrico (GHOSH et al., 2018), promotoras de defesa da planta (MARIANO et al., 2004), e mineradoras de nutrientes como o P (MENDES e REIS JR, 2003).

Por todas essas características, a ILPF é um dos processos tecnológicos que compõem o Plano para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), que reúne os compromissos assumidos pelo Brasil na COP 15 para redução das emissões de gases de efeito estufa no setor agropecuário. Da mesma forma, a ampliação da área com sistemas ILPF faz parte das metas brasileiras voluntárias assumidas no Acordo de Paris. A



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

relevância da ILPF como processo tecnológico sustentável para a agricultura brasileira foi reconhecida por meio da Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, criada em 2013 (FARIA, VASCONCELLOS, 2021).

Para maior adoção pelos produtores brasileiros, a pesquisa agropecuária ainda tem desafios a serem superados, como estabelecimento de práticas de manejo para diferentes culturas em cada região do país, ampliação da opção de espécies arbóreas e de pastagens para uso em ILPF, viabilização de técnicas de semeadura simultânea de culturas agrícolas e forrageiras, agregação de valor aos sistemas ILPF pelo reconhecimento de serviços ecossistêmicos ofertados, tipificação de sistemas integrados em função da região, recuperação e incorporação ao processo produtivo de pastagens degradadas ou em processo de degradação, entre outros (GABRIEL REZENDE FARIA E JOSÉ HEITOR VASCONCELLOS, 2021).

2.2 FÓSFORO NA AGRICULTURA E SUA DINÂMICA NO SOLO

O P é um elemento fundamental na produção agrícola e, juntamente com o nitrogênio e potássio, formam um trio de elementos essenciais para as plantas e os mais fornecidos via adubação para as plantas. A prática agrícola é responsável pelo consumo de 90% de todo P extraído, este é obtido por uma atividade extrativa mineral que tem como fonte a exploração da rocha fosfática (PANTANO et al., 2016). Apesar de sua importância, este elemento apresenta baixa mobilidade no solo, tornando-se em alguns casos indisponível para a planta no decorrer do seu ciclo, se tornando um fator limitante na produtividade agrícola (VERARDI et al, 2016; PANTANO et al, 2016).

A eficiência da aplicação do fertilizante fosfatado ao solo e as necessidades nutricionais das plantas influenciam na seleção de técnicas de manejo da adubação fosfatada, que também está relacionada às propriedades do solo (como textura e quantidade de argila) e características das culturas (HARGER et al, 2007).

O P é essencial para os processos energéticos. Sendo componente do ATP, ele possibilita o processo de fotossíntese, convertendo energia solar em energia química. O P também é importante para formar a maioria das estruturas celulares da planta, auxiliando no crescimento vegetal, floração e formação de sementes (NARLOCH, 2002). Além disso, o P é parte estrutural do difosfato de adenosina (ADP) e do trifosfato de adenosina (ATP), e está relacionado com o



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

crescimento das raízes, maturação de frutos, formação de grãos, frutos e fibras e com o vigor das plantas (VITTI; WIT; FERNANDES, 2004).

Apesar da limitação de P ser mais expressiva na parte aérea que nas raízes da planta, frequentemente é possível observar redução no comprimento da raiz principal (LINKOHR et al., 2002). Nestes casos, há redução da dominância apical e um aumento no comprimento de raízes laterais na planta, que aparecem como uma estratégia para exploração no solo (SILVA et al., 2009).

Na solução do solo, o P pode ser encontrado nas formas de H_3PO_4 , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} , sendo as concentrações desses ânions dependentes do pH. Nos solos de Cerrado, a concentração de P na solução é muito baixa, comumente, inferior a 0,1 ppm (SANTOS DR et al., 2008). Uma pequena quantidade de P está disponível para absorção pelas plantas (na forma de $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}), devido à sua complexação com íons metálicos no solo.

A presença de P na solução do solo provém de fertilizantes comerciais, dos minerais intemperizados durante a formação do solo, matéria orgânica do solo, resíduos culturais e decomposição de organismos. E quando depositado no solo, o P comumente não se movimenta, ou se movimenta muito pouco, permanecendo onde foi distribuído (Lopes, 1998). Em solos brasileiros, o P é encontrado em maior quantidade como fosfatos de alumínio e ferro (PANTANO et al., 2016).

Para melhor compreendermos, o P presente na fase sólida do solo pode ser classificado em duas frações: lábil e não lábil, de acordo com o maior ou menor grau de estabilidade destes compostos. A fração lábil é representada pelo conjunto de compostos fosfatados capazes de repor rapidamente a solução do solo, quando ele é absorvido por plantas ou por microrganismos (SANTOS et al., 2008). Por isso, as frações mais lábeis são dependentes do grau de intemperização do solo, da mineralogia, da textura, do teor de matéria orgânica, das características físico-químicas, da atividade biológica e da vegetação predominante (PANTANO et al., 2016).

Nas frações lábil e não lábil, o P pode ser classificado em P-orgânico (Po) e P-inorgânico (Pi), dependendo da natureza do composto a que está ligado, como mostra na Figura 2 (GATIBONI et al., 2008). O Po constitui de 20 a 30% do P total no solo, sendo derivado da decomposição da biomassa vegetal e de resíduos microbianos (SHARMA et al., 2013). O Po representa os íons fosfatos ligados aos compostos orgânicos, são originários dos resíduos



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição. As principais formas já identificadas são os fosfatos de inositol, que compõem de 10 a 80% do P orgânico total, os fosfolípidios (0,5 a 7%), ácidos nucleicos (~3%) e outros ésteresfosfato (>5%). A estabilidade destes compostos depende de sua natureza e de sua interação com a fração mineral, pois são usados como fonte de carbono e elétrons pelos microrganismos, cujo resultado é a sua mineralização e disponibilização do P (SANTOS et al., 2008).

O Pinorgânico, por sua vez, representa 70 a 80% do P total no solo e compreende fosfatos e minerais como fosfato de cálcio (forma predominante em solos alcalinos), fosfato de alumínio e fosfato de ferro, formas predominantes em solos ácidos (ETESAMI, 2020). Sua disponibilidade depende de sua solubilidade que pode ser influenciada pela atividade das raízes das plantas e microrganismos do solo (MENDES; REIS JR, 2003). O grupo do Pi pode ser separado em duas partes, o P dos minerais primários e o P adsorvido. Ele compõe um intrincado grupo de fosfatos inorgânicos, formando diferentes compostos e com diferentes graus de estabilidade química (SANTOS et al., 2008).

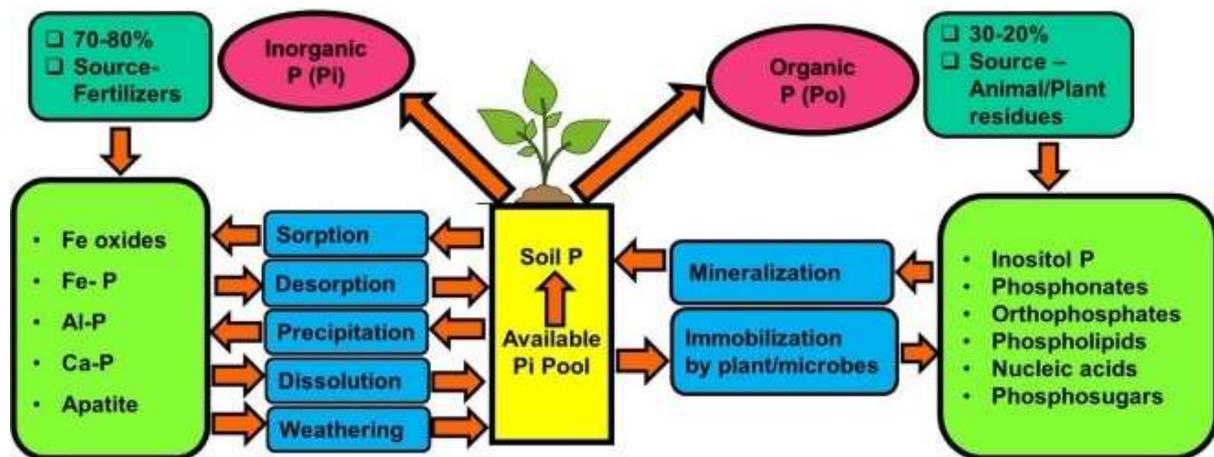


Figura 2. Diferentes formas de fósforo e sua dinâmica no solo. P fósforo, Pi fósforo inorgânico, Po fósforo orgânico, Fe ferro, Fe-P fosfato de ferro, Al-P fosfato de alumínio, Ca-P fosfato de cálcio. Fonte: RAWAT et al. (2020)

Devido à formação de complexos entre os inositóis-fosfatos e proteínas e também devido a sua adsorção em partículas de argila e óxidos de Fe e Al, essas são as formas orgânicas mais resistentes ao ataque das enzimas do solo liberadas pelas raízes e/ou microrganismos. Da quantidade de P presente no solo, de 1% a 10% encontra-se imobilizado na biomassa microbiana (RICHARDSON, 2001).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Estudos constataram que os fertilizantes adicionados ao solo se acumulam principalmente em formas inorgânicas (RHEINHEIMER; ANGHINONI, 2001) e, em solos bem adubados são a principal fonte de P às plantas, enquanto em solos com baixos teores de P disponível, o P orgânico torna-se relevante para o sistema (GATIBONI et al., 2007; RHEINHEIMER et al., 2008). A dinâmica do fósforo no solo depende, principalmente da dissolução e precipitação, sorção e desorção, e inter conversão entre formas orgânicas e inorgânicas de fósforo.

A disponibilidade do P depende de várias condições, tais como teor de argila, tipo de argila, época de aplicação, aeração, compactação umidade, nível de fosfato, temperatura, outros nutrientes, cultura e pH do solo. Os mecanismos de fixação de P em solos altamente intemperizados de regiões tropicais são diferentes. A capacidade de fixação de P na maioria desses solos está relacionada com a alta reatividade e afinidade das superfícies dos minerais de argila pelo P (SANTOS et al., 2008).

Para Malavolta (1989), as plantas não conseguem aproveitar mais que 10% do P total aplicado via adubação em solos tropicais ácidos, ricos em ferro e alumínio, pois há a adsorção deste elemento. Em solos brasileiros há uma carência generalizada de P também porque o elemento tem alta interação com o solo, sofrendo forte fixação. Os métodos de aplicação podem influenciar a disponibilidade de P para as plantas (MALAVOLTA, 1980). Além disso, a absorção, assimilação e translocação de nitrogênio nas plantas podem ser restringidas pela deficiência de P. Uma vez que é o nitrogênio quando fornecido de forma correta, garante a maior absorção do P (GNIAZDOWSKA et al., 1999).

Devido à baixa mobilidade do P no solo, conhecer o efeito de sua localização em relação à planta tem grande significado prático, principalmente em solos de extrema deficiência em P, como é o caso daqueles utilizados em reflorestamento de eucaliptos (SCHUMACHER et al, 2004). Também, é importante salientar que os níveis críticos de P no solo e na planta diminuem com a idade das plantas, sendo a variação mais acentuada nas plantas perenes, como é o caso da maioria das forrageiras, por exemplo, que para 80% da produção máxima de matéria seca do capim-tanzânia o nível crítico de P no solo é 38 mg dm^{-3} (GHERI et al., 2000). Assim, é fundamental estabelecer os níveis críticos deste elemento para cada um dos estádios de crescimento das plantas.

Pela adição de fertilizantes fosfatados há o acúmulo de P em formas inorgânicas e



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

orgânicas com diferentes graus de energia de ligação, embora o acúmulo das formas inorgânicas seja mais evidente. A redistribuição de P em diversas formas quando da adubação também ocorre em solos cultivados sob sistemas conservacionistas, como integrações e consórcios. Observa-se a formação de uma camada na superfície do solo com alta disponibilidade de nutrientes, incluindo o P. Esse comportamento é consequência da adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial, ausência de revolvimento e diminuição das taxas de erosão (RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001; SANTOS et al., 2008).

A adsorção do P ocorre primeiramente nos sítios de menor labilidade e, posteriormente, o P remanescente (P rem), é redistribuído em frações retidas com menor energia e de maior disponibilidade às plantas, comparativamente ao sistema de cultivo convencional (RHEINHEIMER et al., 2000). O P rem consiste no P que se encontra em equilíbrio na solução do solo em relação à concentração de P que foi adicionado ao solo. Sua concentração depende principalmente da quantidade e do tipo de argila e o conteúdo de matéria orgânica no solo.

Pensando nisso, a utilização de sistemas mais diversificados tem a capacidade de aproveitar mais o P no solo, uma vez que há maior aproveitamento da área e diferentes intensidades de absorção e de microrganismos atuando no sistema. Diel et al (2014) observaram uma melhor distribuição do P em sistemas de ILPF em relação a apenas pastagem e pousio. Farias Neto et al. (2019) verificaram que no quarto ano após implantação do sistema de ILPF, os processos de ciclagem biogeoquímica de fósforo pelas árvores tiveram intensidade suficiente para afetar a distribuição do fósforo no sistema, vertical e horizontalmente.

Como foi mencionado, microrganismos solubilizadores de P são parte integrante do ciclo do P no solo, atuando nas reações bioquímicas, como solubilização, mineralização e imobilização de P (RICHARDSON; SIMPSON, 2011). Esses microrganismos mediam a mineralização de P orgânico através da P-hidrólise por enzimas, principalmente fitases e fosfatases que catalisam a hidrólise de ligações P-éster. Além disso, a secreção de ácidos orgânicos (ou seja, ácido oxálico, ácido láctico, ácido cítrico e succínico), bem como ácido fosfatase estão altamente ligados à solubilização de diferentes compostos de P, como P tricálcico, P rocha e P alumínio (SWETHA; PADMAVATHI, 2016).

Dessa maneira, a diversificação de plantas também influenciará na manutenção de diferentes organismos, e estes ainda irão poder disponibilizar o P para as plantas em diferentes intensidades, como ocorre em sistemas de integração. Muitos estudos confirmam que a



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

aplicação combinada de microrganismos e P poderia reduzir ainda mais a adsorção de P no solo e aumentar sua disponibilidade, o que conseqüentemente melhorará a ecoeficiência dos fertilizantes fosfatados (ALVES et al., 2002; BARGAZ et al., 2021; BOLO et al., 2021; SILVA FILHO; VIDOR, 2000; SILVA FILHO et al., 2002; SOUCHIE, et al., 2005). Os microrganismos solubilizadores de fosfatos podem aumentar a disponibilidade de P no solo para as plantas, e têm sido ofertados como bioinsumos a partir de diferentes marcas comerciais (SILVA FILHO; VIDOR, 2000).

2.3 MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO

Aplicação de fontes de fósforo, como aquele provindos das rochas sedimentares, que possuem uma maior reatividade ou manejo de populações é uma forma de substituir parte do uso de fertilizantes fosfáticos solúveis, mediante um melhor aproveitamento dos fosfatos naturais existentes ou adicionados ao solo (MENDES; REIS Jr., 2003).

Bactérias, fungos e actinomicetos estão envolvidos em processos de solubilização e mineralização de fosfato no solo (RICHARDSON, 2001). Os microrganismos afetam diretamente a habilidade das plantas em adquirirem P do solo por meio de vários mecanismos, que incluem: associações micorrízicas com promoção do crescimento de raízes laterais e pelos radiculares; deslocamento do equilíbrio de adsorção, o que resulta numa transferência de íons fosfato para a solução do solo; incremento de mobilidade de formas orgânicas de P; e, estímulos de processos metabólicos que são efetivos na solubilização e mineralização do P a partir de formas pouco disponíveis de P inorgânico e orgânico.

Esses processos incluem a excreção de íons hidrogênio, liberação de ácidos orgânicos, produção de sideróforos e a produção de enzimas fosfatases que são capazes de hidrolizar o P orgânico (Figura 3).

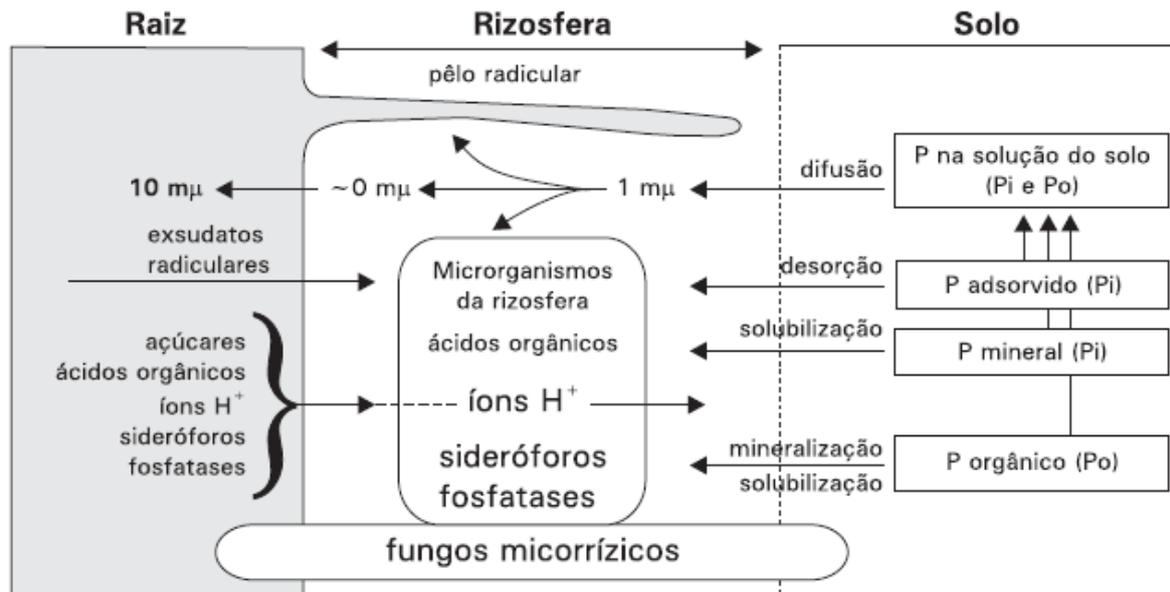


Figura 3: Representação esquemática dos principais fatores fisiológicos associados às raízes das plantas e microrganismos do solo que influenciam a disponibilidade de P. (RICHARDSON, 2001 e citado por MENDES; REIS Jr., 2003)

O processo microbiano de transformação do P é governado por genes que garantem a mineralização de P orgânico e a solubilização de P inorgânico, a absorção e transporte de P e a regulação da resposta à necessidade de P. De fato, esses microrganismos em particular, são relatados para liberar diferentes tipos de ácidos orgânicos (ou seja, oxálico, cítrico, succínico, glucônico, α -cetoglutárico, e ácidos fumáricos), que são responsáveis por transformar formas de P até então indisponíveis em formas solúveis. Na verdade, esses compostos quelam cátions (Al, Fe e Ca) ligados ao P através de seus grupos de hidroxilas e carboxilas, oferecendo assim uma forma de P que poderia ser facilmente assimilada por plantas (BARGAZ et al., 2021).

A população microbiana do solo é composta, principalmente, por bactérias e fungos, sendo as bactérias solubilizadores de P de 1% a 50%, e os fungos solubilizadores de fosfato abrangem entre 0,1% e 0,5% da população total (CHEN et al., 2006).

Dentre os MSPs estão as bactérias, das quais cepas pertencentes aos gêneros *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Exiguobacterium*, *Natrinenema*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Serratia* foram relatados como solubilizadores de P eficientes e potenciais (GARCIA et al. 2015; KOUR et al. 2021).

Os fungos também se destacam como solubilizadores, sendo os gêneros *Aspergillus*,



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Penicillium, *Acremonium*, *Hymenella*, e *Neosartorya* conhecidos por sua capacidade de solubilização de fosfato (RAWAR et al., 2020).

Ganha destaque as bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter* e *Burkholderia*, e os fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2009; GOMES et al., 2014; ETESAMI; MAHESHWARI, 2018; KALAYU, 2019).

Apesar da ocorrência de microrganismos capazes de mineralizar/solubilizar o P no solo, a quantidade presente não é alta o suficiente para competir com outros organismos presentes na rizosfera.

De acordo com Mendes e Reis Jr. (2003), há grande quantidade de experimentos em que se tentou aumentar a disponibilidade de Pi por meio da inoculação *Acidithibacillus* e *Bacillus* spp. e *Penicillium* spp. solubilizadores de fosfato. Dentre os fatores a serem considerados para produção de inoculantes estão: identificar a estirpe ou combinação de estirpes mais adequada para a inoculação no campo; selecionar o melhor método de produção em massa do inoculante; determinar a estabilidade genética; identificar o melhor veículo para o inoculante (inoculante líquido ou sólido) e o melhor método de aplicação (via sementes ou na linha de plantio); e, escolher as técnicas de manejo que maximizem a eficiência do inoculante. As características mais importantes do emprego de microrganismos imobilizados na solubilização de fosfatos insolúveis e do solo estão relacionadas com a sua longevidade e estabilidade catalítica, ou seja, as enzimas são classes proteicas que possuem função catalítica acelerando reações bioquímicas (OLIVEIRA-PAIVA, 2009).

Microrganismos solubilizadores de P podem ser utilizados em combinação com rochas naturais, uma vez que possuem maior eficiência nesta situação, que possuem baixas taxas de solubilização, para suprir, mesmo que parcialmente, a demanda de P pelas plantas (STOCKDALE et al., 2002).

Além dos benefícios sobre a liberação do P, o uso de microrganismos solubilizadores é considerado uma alternativa ambientalmente correta pelo maior aproveitamento dos nutrientes e aumento da diversidade biológica do solo (KHAN et al., 2010).

Veículos inoculantes de baixo custo e com potencial para aplicação na agricultura têm sido alvo de intensas pesquisas como, por exemplo, bagaço de cana, serragem, turfa derivada de cacau, casca de arroz, farelo de trigo, carvão vegetal, fosfato de rocha, pó de carvão, lignita, casca de café, entre outros (PANDEY; MAHESHWARI, 2007; CISNEROS et al., 2016).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Cisneros et al. (2016), em pesquisa realizada com a aplicação de diferentes fontes de P, para avaliar sua quantidade no solo e sua absorção pelas plantas, verificaram que a adição de casca de café e o uso de microrganismos solubilizadores de fosfato, *Kocuria* sp., *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* e *Bacillus velezensis* melhoram a disponibilidade de P e alguns nutrientes para as mudas de café. Em todas as frações de P, os teores de P inorgânico mostraram-se os mais altos em relação ao P orgânico. As concentrações das frações inorgânicas de P disponível e moderadamente disponível foram beneficiadas com a aplicação do fertilizante DAP. Alta correlação entre o fósforo foliar e a fração disponível de P, que é absorvida pela raiz da planta.

O primeiro inoculante composto por microrganismos solubilizadores de fosfato foi lançado em 2019, pela Embrapa em parceria com a empresa Bioma (BiomaPhos[®]), e é composto por cepas BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*) e indicado para aplicação via jato em sulco de semeadura ou para tratamento de sementes. O inoculante aumentou a disponibilidade do P às raízes e o conseqüente incremento de 10% na produção de grãos (SKORUPA; MANZATO, 2019). Além disso, seu uso pode propiciar redução dos custos com fertilizantes fosfatados.

Estas duas estirpes foram isoladas de áreas agrícolas distintas no País, onde prevalece o cultivo de cereais (ABREU et al., 2017; OLIVEIRA-PAIVA et al., 2009). A estirpe de *B. megaterium* (CNPMS B119) foi isolada da rizosfera de milho, e tem capacidade de solubilizar fosfatos de cálcio e de rocha e produzir fosfatase, enquanto a estirpe de *B. subtilis* (CNPMS B2084) é endofítica, solubiliza fosfatos de cálcio e ferro, apresenta alta produção de ácido glucônico e enzima fitase (ABREU et al., 2017; OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020).

Alguns testes realizados em soja em várias regiões de plantio, demonstraram que em todos os locais, a produção foi maior na área inoculada com o inoculante. O ganho médio variou de 0,3% a 18,5%. Os ganhos médios foram de 4,3 sacas ha⁻¹, na cultura da soja. Foi registrado em Goiás ganho nas lavouras avaliadas de 10%. Entretanto, o maior ganho foi registrado no Paraná (5,3 sc ha⁻¹), e o menor, em Santa Catarina (2,2 sc ha⁻¹) (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020).

Estes dados são importantes, pois ainda pesquisas em sistemas de integração levam muito tempo para obter respostas quanto a incrementos de produção e qualidade de solo, sendo assim informações como esta pode fornecer subsídios para um melhor entendimento e o aposte em microrganismos potenciais. Além disso, devemos salientar que a soja por exemplo em sistemas



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

integrados será rotacionada com outras culturas, e se houver a manutenção do microclima e conseqüentemente dos organismos as culturas sucessivas irão poder se beneficiar dos nutrientes mineralizados.

O produto BiomaPhos® foi avaliado por Hungria e Nogueira (Embrapa Soja), nas localidades de Guapirama-PR e Lutécia-SP, e observaram que a aplicação de 1 mL kg⁻¹ em sementes de soja, com 50% da recomendação da adubação fosfatada (superfosfato triplo), resultou em aumento na quantidade total de P acumulada nos grãos, que foi equivalente ou superior à adubação com 100% de P sem o bioproduto (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020).

Em espécies utilizadas em sistemas de integração como a canafístula, foi verificado que a inoculação com *Bacillus amyloliquefaciens* apresentou alta interação com as plantas de canafístula, foi verificado o aumento no crescimento e na colonização das bactérias na raiz (TANUS et al., 2022).

Adicionalmente, o microrganismo *Pseudomonas fluorescens* (cepa CNPSo 2719) em formulação isolada foi registrado para a mobilização de P para as culturas do milho e da *Brachiaria (Urochloa ruziziensis)*, demonstrando, uma possibilidade na gestão no nutriente P no solo em rotação de culturas, bem como, quando associados a cultura de cobertura. Importante ressaltar também o benefício na visão do sistema de produção, como por exemplo, na integração Lavoura-Pecuária.

A inoculação com as estirpes de *Trichoderma* mostrou respostas positivas de até 41% na promoção do crescimento da soja, assim como um aumento de até 141% na eficiência de aquisição de P (BONONI et al., 2020).

A coinoculação das estirpes de *Bradyrhizobium* e *Pseudomonas* em soja resultou em aumento no rendimento de grãos de 38% em experimentos com vasos e 12% no experimento de campo, em comparação com o tratamento não inoculado. Foi observado um aumento do número de vagens, conteúdo de N e P nas sementes e disponível no solo, em relação o controle, indicando benefícios com microrganismos na mobilização de nutrientes e produtividade da soja. Em café foi observado com uso de micorrizas um efeito equivalente a 250 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (SIQUEIRA et al., 1993)

Alguns estudos relataram influência sobre a altura das plantas de sorgo aumentando suas taxas de crescimento entre outras características agrônômicas e produtivas (MASCHIO, 2021). Em condições de disponibilidade de P há incremento na assimilação do CO₂, além de maior



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

eficiência de carboxilação e atividade fotoquímica de milho verde e eucalipto (DOMINGUES et al. 2013; WARREN, 2011).

Microrganismos solubilizadores de fosfato podem sintetizar hormônios vegetais, como citocininas, giberelinas, ácido indol-3-acético, e vitaminas, como riboflavina, niacina e vitamina B12 (STRZELCZYK; ROZYCKI, 1985). Para Domingues Neto et al. (2013), a produção de promotoras e reguladoras de crescimento é extremamente importante, pois melhora a eficiência da planta na absorção de água e nutrientes e, de acordo com Kasim et al. (2013), os microrganismos quando em interação com raízes de plantas possuem a capacidade de aumentar a produção de genes que estão diretamente ligados ao estresse hídrico, sendo possível promover tolerância às condições de estresse, devido ao ajustamento osmótico. Muitos microrganismos também podem ser utilizados em programas de biorremediação de resíduos com contaminação de metais e de outras substâncias (DIXON-HARDY et al., 1998).

Um importante fator a ser considerado para o uso deles é a existência de uma relação de simbiose entre o microrganismo aplicado e a espécie vegetal que será cultivada. A recomendação seria a inoculação de uma grande quantidade e diversidade de microrganismos eficazes na colonização e estabelecimento da rizosfera (MENDES; REIS JUNIOR, 2003).

No que se trata da manutenção dos microrganismos e, conseqüentemente, da sua eficiência na integração depende fortemente da manutenção do solo coberto, diversidade de fontes de carbono, qualidade de palhada, e matéria orgânica, oxigênio, porosidade, tipo de solo, manutenção da umidade e da temperatura. E os sistemas de integração quando bem estruturados, a partir do quarto ano podem contribuir facilmente para esta manutenção.

Além de fatores como a competitividade por recursos do meio e a predação por protozoários (fatores bióticos) que dificultam a introdução desses microrganismos na rizosfera, fatores abióticos como temperatura, textura do solo, tipo de argila, umidade, pH e a disponibilidade de substratos orgânicos, assim como a presença de defensivos agrícolas também interferem no processo (REIS et al., 2008). A capacidade de solubilização também está relacionada com a fonte de carbono e nitrogênio disponíveis (NAUTIYAL et al., 2000).

Os microrganismos do solo, servem como indicadores sensíveis do estresse ecológico ocorrido nos diferentes arranjos florestais, plantios de lavouras convencionais e pastagens convencionais. Dessa forma, a microbiota é sensível à mínima alteração que ocorra no solo, respondendo de forma instantânea às mudanças nela ocasionadas (GONZAGA et al., 2015).



2.4 MECANISMOS UTILIZADOS PARA SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO INORGÂNICO

Os fosfatos inorgânicos do solo como Fe-P, Al-P e Ca-P são solubilizados das seguintes maneiras:

2.4.1 PRODUÇÃO DE ÁCIDO ORGÂNICOS

A fermentação, a respiração de compostos orgânicos de carbono ou a oxidação direta são as principais vias metabólicas para a produção de ácidos orgânicos (compostos de baixo peso molecular como ácido cítrico, ácido glucônico, ácido oxálico, ácido tartárico) excretados pelos MSPs que resultam em acidificação nas proximidades de micróbios, liberando fosfatos de complexos por substituição de prótons por cátions como Fe^{+3} e Al^{+3} ou pela troca de fosfato (PO_4^{2-}) por ânions ácidos (RAWAT et al., 2020).

2.4.2 PRODUÇÃO DE ÁCIDO INORGÂNICO E H_2S

A produção de ácido clorídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico e ácido carbônico pelos MSPs foi relatada como mecanismo para solubilizar fosfato, contudo esse mecanismo apresenta baixa eficiência em comparação com ácidos orgânicos (STAMFORD et al., 2003).

Além disso, bactérias acidófilas e oxidantes de enxofre produzem H_2S como um subproduto metabólico da decomposição microbiana de matéria orgânica, redução de sulfato e outras reações bioquímicas, que reage com fosfato férrico e forma sulfato ferroso, liberando o P ligado (BASHAN et al., 2013).

2.4.3 LIBERAÇÃO DE PRÓTONS DO NH_4^+ (ASSIMILAÇÃO/RESPIRAÇÃO)

A extrusão de prótons é um modo alternativo de dissolução de P no solo por microrganismos.

O amônio (NH_4^+) presente no solo é assimilado pelos MSPs para a síntese de aminoácidos. Dentro da célula microbiana, NH_4^+ é convertido em amônia (NH_3) e o excesso de próton H^+ é liberado no citoplasma da célula microbiana. Isso acidifica o meio ao redor da célula microbiana, o que ajuda na dissolução de fosfatos insolúveis (DAS et al., 2019).

2.4.4 MECANISMOS INDIRETOS



A lise celular microbiana durante condições de estresse libera P no solo, que é absorvido por plantas e outros organismos do solo.

2.4.5 VIA DE OXIDAÇÃO DIRETA

Na via de oxidação direta, a glicose é convertida ao ácido glucônico pela glicose desidrogenase e posteriormente oxidado ao ácido 2-cetoglucônico pela gluconato desidrogenase. Esses ácidos atuam como quelantes de minerais como Ca^{2+} e Fe^{2+} de sua forma ligada ao fosfato.

2.4.6 PRODUÇÃO DE EXOPOLISSACARÍDEO (EPS)

Exopolissacarídeos são homo ou heteropolímeros de carboidratos com um componente orgânico ou inorgânico que é exsudado por microorganismos fora de sua parede celular. O EPS é produzido por micróbios em resposta ao estresse e forma complexos com íons metálicos presentes no solo (Al^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , K^+).

2.4.7 PRODUÇÃO DE SIDERÓFOROS

Sideróforos são compostos quelantes de ferro de baixo peso molecular e alta afinidade que são excretados por microorganismos e plantas em resposta ao estresse de ferro no ambiente. São os agentes complexantes de íons férricos mais fortes existentes.

2.4.8 MECANISMO DE SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO PELOS MSPS

As principais estratégias adotadas pelos MSPs para a dissolução de fosfatos estão listadas na Figura 4 e incluem:

- exsudação de ácidos orgânicos, prótons e sideróforos;
- excreção de enzimas extracelulares; e
- degradação do substrato via mineralização

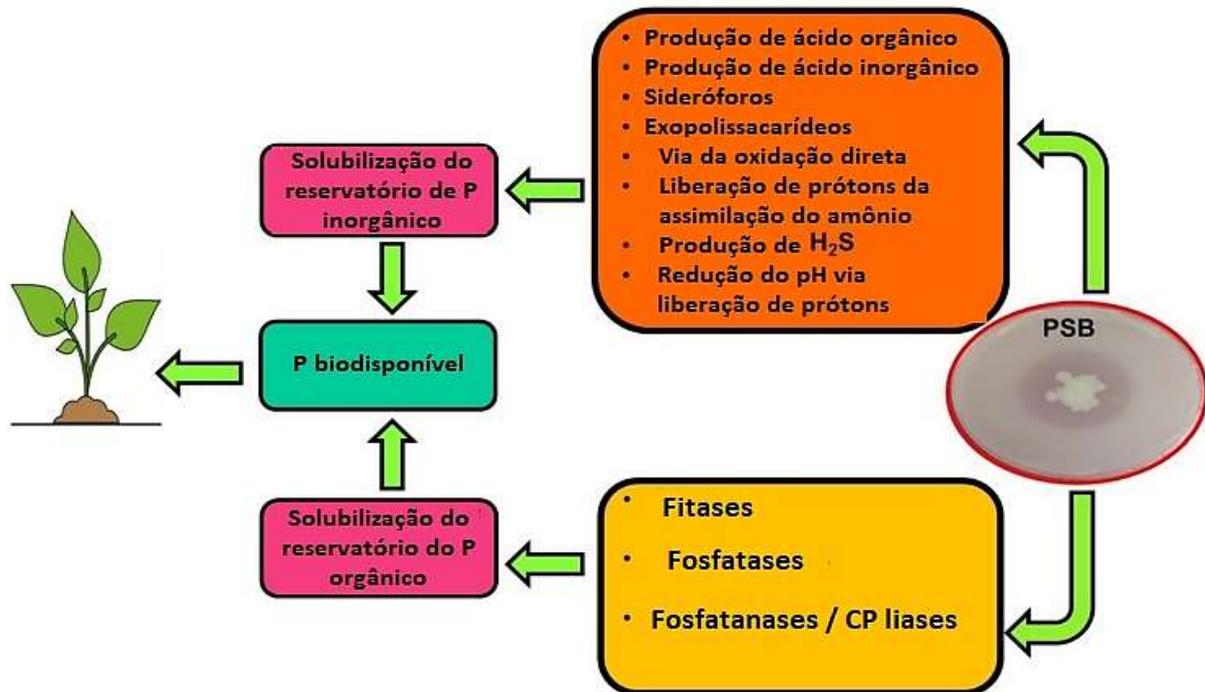


Figura 4. Apresentação esquemática de solubilização de fósforo por Microrganismos Solubilizadores de Fósforo. A placa PSB ilustrada na figura representa bactérias solubilizadoras de fósforo com formação de zona de halo. Fonte: RAWAT et al. (2020)

2.5 MECANISMOS UTILIZADOS PARA SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO ORGÂNICO

Os fosfatos orgânicos constituem 20-30% do P total no solo. A dissolução de fosfatos orgânicos ocorre via processo de mineralização através da ação de enzimas:

2.5.1 FOSFATASES ÁCIDAS NÃO ESPECÍFICAS (NSAPS):

Podem ser fosfatases ácidas (predominam em solos ácidos) e fosfatases alcalinas (predominam em solos básicos). As fosfatases catalisam a desfosforilação de fosfoésteres ou ligações fosfoanidrido de compostos orgânicos (CRUZ E ISHII, 2012).

2.5.2 FITASES



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

As fitases catalisam a remoção de fósforo do composto fitato (P orgânico abundante no solo), que é a fonte dominante de inositol e fósforo armazenado nas sementes e pólen (CALVO et al., 2014).

2.5.3 FOSFONATASES/LIASES DE CARBONO-FÓSFORO (C-P)

Esta classe de enzimas catalisa a quebra da ligação C-P de organofosforados, melhorando a disponibilidade de fósforo às plantas (KARUNAKARAN et al., 2013).

2.6 INTERAÇÃO ENTRE BACTÉRIAS E FUNGOS NA SOLUBILIZAÇÃO DE P INSOLÚVEL

A combinação do uso de bactérias e fungos parece ser ainda mais benéfica para a solubilização de fosfato. Além disso, o silício também parece ter papel importante nesse processo (ETESAMI et al., 2020).

Em revisão publicada por ETESAMI et al. (2021) os autores discutem que a estratégia combinada da utilização de silício, fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP) pode ser muito útil para melhorar a disponibilidade de P e, como resultado, impulsionar a absorção de fosfato pelas plantas em comparação com o uso de qualquer um deles sozinho (Figura 6).



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Assim como em sistemas de plantio direto, já mais consolidados, o sistema de ILPF pode facilitar interações complexas nesses manejos, ao mitigar o impacto da pecuária e dos produtores no solo, a rentabilidade pode ser melhorada e a probabilidade das mesmas conjecturas reduzidas, levando a um maior sucesso no afastamento do meio rural.

Diversos estudos mostram a importância estratégica dos microrganismos solubilizadores de P à campo. Contudo, a diversidade ecológica de espécies é um desafio para o desenvolvimento de produtos comerciais que possam ser utilizados a campo. É fundamental realizar o isolamento e caracterização de novas cepas, o que é demorado, trabalhoso e caro.

O uso de inoculantes microbianos já é constantemente considerada como uma técnica para aumentar a composição biológica dos sistemas de produção de soja, garantindo a saúde do solo por meio da redução do uso de fertilizantes sintéticos e garantindo a diversidade de microrganismos benéficos.

A utilização de microrganismos que dissolvem o P é uma tendência que vem apresentando resultados promissores em diferentes culturas em diversos países, existindo diversos produtos comerciais no mercado global.

Mas, para uso à campo incluem: identificação combinações de estirpes adequadas e a estabilidade genética das mesmas, seleção do melhor meio para multiplicação em massa dos microrganismos, escolha do melhor método de aplicação e de técnicas de manejo para aumentar a eficiência do produto.

É importante considerar que a grande diversidade de agentes biológicos, diferentes condições edafoclimáticas distintas no Brasil e condições de manejo cultural podem influenciar no desempenho desse tipo de produto. Assim, como precaução, a utilização de associações de biológicos devem ser validadas e orientadas pela pesquisa.

Como sugestão para pesquisas futuras quanto a inoculantes biológicos para o mercado brasileiro, trabalhos devem visar identificar e caracterizar novos microrganismos mais eficientes na solubilização de P e K; descrever o mecanismo de ação de uma melhor compreensão da seleção de processos e cepas; determinar de condições ideais para a atividade do inoculante, incluindo interações entre diferentes microrganismos nativos do solo e outros inoculantes biológicos amplamente utilizados.

Apesar dos resultados promissores os pesquisadores responsáveis não orientam a redução das doses de fósforo aplicados à cultura. Isso garante o destaque da prática no manejo



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO**

integrado de fertilizantes, em importantes programas governamentais (por exemplo, programa ABC, agricultura de baixo carbono) e mais recentemente no Programa Nacional de Insumos Biológicos que buscar usufruir a biodiversidade brasileira para reduzir ao consumo de insumos importados.

O uso de solubilizantes de P, sozinhos ou em combinação com agentes promotores de crescimento de plantas quando ecologicamente correto, poderia aumentar a absorção de P pelas culturas, aumentando seus rendimentos para a sustentabilidade agrícola e ambiental.



4 REFERÊNCIAS

ABREU, C. S.; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, V. L.; GOMES, E. A.; RIBEIRO, V. P.; BARROS, B. A.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E. Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017

ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; ALVES, F. V. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com ênfase na produção de carne. In: II CONGRESO COLOMBIANO Y I SEMINARIO INTERNACIONAL SILVOPASTOREO, 2012, Medellín. Anais... Medellín, Colômbia: Universidad Nacional de Colombia. Disponível em: <http://www.unalmed.edu.co/~biorum/memorias.html>. 18p. 2012.

ALVARENGA, R. C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, M. C. M.; VILELA, L. Sistemas Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: condicionamento do solo e a intensificação da produção de lavouras. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 31, n. 257, p. 1-9, 2010.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; DE MOURA OLIVEIRA, J.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A. O. de; STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130p.

BARGAZ, A.; WISSAL ELHAISOUI, W.; KHOURCHI, S.; BENMRID, B.; BORDEN, K. A.; RCHIAD, Z. Benefits of phosphate solubilizing bacteria on belowground crop performance for improved crop acquisition of phosphorus. **Microbiological Research**, v. 252, n. 12684, 2021.

BIOMA – BiomaPhos. Disponível em: <https://www.bioma.ind.br/produto/biomaphos>

BOLO, P.; KIHARA, J.; MUCHERU-MUNA, M.; NJERU, E. M.; KINYUA, M.; SOMMER, R. Application of residue, inorganic fertilizer and lime affect phosphorus solubilizing microorganisms and microbial biomass under different tillage and cropping systems in a Ferralsol. **Geoderma**, v. 390, n. 114962, 2021.

BONONI, L.; CHIARAMONTE, J. B.; PANSA, C. C.; MOITINHO, M. A.; MELO, I. S. Phosphorus-solubilizing *Trichoderma* spp. from Amazon soils improve soybean plant growth. **Scientific Reports**, v. 10, article 2858, 2020.

CARVALHO, R. M. M.; SILVA, M. R.; CARVALHO, F. C. T.; REBOUÇAS, R. H.; SOUSA, O. V. Bactérias Solubilizadoras de Fosfato em solo rizosférico da Caatinga. **Revista Geonorte – Edição Especial V. v. 7, n. 26, p. 48-60, 2016.**



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

CHEN, Y. P.; REKHA, P. D.; ARUN, A. B.; SHEN, F. T.; LAI, W. A.; YOUNG, C. C. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. **Applied Soil Ecology**, v. 34, n. 1, p. 33-41, 2006.

CISNEROS, C. A.; SANCHÉZ, M. P.; MENJIVAR, J. C. F. Influencia de microorganismos solubilizadores de fósforo del suelo y su absorción por plántulas de café. **Bioagro**, v. 28, n. 2, p. 95-106, 2016.

CONTINI, E.; ARAGÃO, A. O agro brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas. Disponível em: www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-epecuaria/2021/03/participacao-brasileira-saltou-de-us-20-6-bilhoes-para-us-100-bilhoes/populacao-alimentada-pelo-brasil.pdf. Acesso em: 10 ago. 2022

CONWAY, G. R. The properties of agroecosystems. *Agricultural systems*, Essex v. 24, n. 2, p. 95-117, 1987.

DIEL, D. BEHLING, M.; FARIAS NETO, A. L.; ISERNHAGEM, E. C. C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, n.8, p.639-647, 2014

DOMINGUES NETO, F. J.; YOSHIMI, F. K.; GARCIA, R. D.; MIYAMOTO, Y. R.; DOMINGUES, M. C. S. Desenvolvimento e produtividade do milho verde safrinha em resposta à aplicação foliar com *Azospirillum brasilense*. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1030-1040, 2013.

DOMINGUES, T. F.; MEIR, P.; FELDPAUSCH, T. R.; SAIZ, G.; VEENENDAAL, E. M.; SCHRODT, F.; BEID, M.; DJAGBLETEY, G.; HIEN, F.; CAMPAORE, H.; DIALLO, A.; GRACE, J.; LLOYD, J. Co-limitation of photosynthetic capacity by nitrogen and phosphorus in West Africa Woodlands. *Plant, Cell and Environment*, v. 33, p. 959-980, 2010.

DUARTE, C. F. D.; CECATO, U.; HUNGRIA, M.; FERNANDES, H. J.; BISERRA, T. T.; MAMÉDIO, D.; ... NOGUEIRA, M. A. Inoculação de bactérias promotoras do crescimento vegetal em *Urochloa Ruziziensis*. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, p. e630985978-e630985978, 2020.

DUPRAZ, Christian; LIAGRE, Fabien. *Agroforesterie: des arbres et des cultures*. France Agricole Editions, 2008.

EMBRAPA. Integração lavoura-pecuária-floresta: noções técnicas 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf/nota-tecnica>. Acesso em: 10 set. 2019.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

ETESAMI, H.; MAHESHWARI, D. K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: action mechanisms and future prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 156, p. 225-246, 2018.

FARIAS NETO, A. L.; NASCIMENTO, A. F.; ROSSONI, A. L.; MAGALHÃES, C. A. S.; ITUASSÚ, D. R.; HOOGERHEIDE, E. S. S.; ... CARNEVALLI, R. A. Primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável. Brasília: Embrapa, 2019. 825 p.

FONTANELI, R. S.; DOS SANTOS, H. P.; NASCIMENTO JUNIOR, A. D.; DE CASTRO, R. L.; CAIERÃO, E.; KORCELSKI, C., ... RODIGHEIRO, K. Integração lavoura-pecuária-floresta: intensificação sustentável para a sobrevivência humana. Embrapa Trigo-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2019.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de P acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.691-699, 2007.

GATIBONI, Luciano Colpo et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p. 1085-1091, 2008.

GHERI, E. O.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; PALMA, L. A. S. Nível crítico de fósforo no solo para *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, v.35, n.9, p.1809-1816, 2000.

GHOSH, P. K.; MAITI, T. K.; PRAMANIK, K.; GHOSH, S. K.; MITRA, S.; DE, T. K. The role of arsenic resistant *Bacillus aryabhatai* MCC3374 in promotion of rice seedlings growth and alleviation of arsenic phytotoxicity. *Chemosphere*, v. 211, p. 407-419, 2018.

GLOBALFERT. Importação de fertilizantes bate recorde em 2020. Análises. Disponível em: www.globalfert.com.br/analises/importacao-de-fertilizantesbate-recorde-em-2020/. Acesso em: 21 ago. 2022.

GNIASZDOWSKA, A.; KRAWCZAK, A.; MIKULSKA, M. & RYCHTER, A.M. Low phosphorus nutrition alters beans plants' ability to assimilate and translocate nitrate. *J. Plant Nut.*, 22:551-563, 1999.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J., ed. Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. São Paulo, Nobel, 1986. p.129-166.

GOMES, E.; SILVA, U.; MARRIEL, I.; OLIVEIRA, C.; LANA, U. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 13, n. 1, p. 69-81, 2014.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

GONZAGA E. N. Densidade e atividade bacteriana em solos de sistemas de produção agrícola no norte de Mato Grosso. 2015. 33f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Mato Grosso. Sinop. 2015

GREINER, R. Phytate-degrading enzymes: regulation of synthesis in microorganisms and plants. In: TURNER, B. L.; RICHARDSON, A. E.; MULLANEY, E. J. (Ed.). Inositol phosphates: linking agriculture and environment. London: CAB International, 2006. p. 78-96.

HARGER, Nelson et al. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. Semina: Ciências Agrárias, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

JORGUERA, M. A.; CROWLEY, D. E.; MARSCHNER, P.; GREINER, R.; FERNANDEZ, M. T.; ROMERO, D.; MENEZES-BLACKBURN, D.; MORA, M. L. Identification of propeller phytase-encoding genes in culturable *Paenibacillus* and *Bacillus* spp. From the rhizosphere of pasture plants on volcanic soils. FEMS Microbiology Ecology, Amsterdam, v. 75, p. 163-172, 2011.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. International Journal of Agronomy, v. 2019, article ID 4917256, 2019.

KASIM, W. A. et al. Control of Drought Stress in Wheat Using Plant-Growth Promoting Bacteria. Journal of Plant Growth Regulation, v.32, n.1, p.122-130. 2013.

KHAN, M. S.; ALMAS ZAIDI, A.; AHMAD, M.; OVES, M.; WANI, A. A. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi – current perspective. Archives of Agronomy and Soil Science, v.56, n. 1, p73-98, 2010.

KICHEL, A.N.; ALMEIDA, R.G.; COSTA, J.A.A. Integração lavoura-pecuária-floresta e sustentabilidade na produção de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6, 2012, Cuiabá, MT. Anais... Cuiabá, MT: Embrapa; Aprosoja, 2012. p. 1-3. 1 CD-ROM.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B. Sistemas de integração agricultura & pecuária. Campo Grande: Embrapa Gado e Corte, 2001.

KOWALSKA, J.; TYBURSKI, J.; MATYSIAK, K.; TYLKOWSKI, B.; MALUSA, E. Field Exploitation of Multiple Functions of Beneficial Microorganisms for Plant Nutrition and Protection: Real Possibility or Just a Hope? Frontiers in Microbiology, v. 11, article 1904, 2020

LINKOHR, B. I. et al. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of arabidopsis. Plant Journal, v.29, n.6, p. 751-760, 2002.

LINKOHR, B., L.; WILLIAMSON, A.; FITTER, A.; LEYSER, H. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of Arabidopsis.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

The Plant Journal, v. 29, n. 6, p. 751–760. 2002

LOPES, A. S. Manual Internacional de fertilidade do solo. 2 ed. POTAFOS: Piracicaba. 1998. 177p.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, n. 10, p. 1269-1276, 2011.

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B.; VENTURIN, N. Eucalipto em sistemas agroflorestais. Lavras: UFLA, 2010. 331p.

MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E.; BALBINO, L. C. Manejo e conservação do solo e água no contexto das mudanças ambientais – Panorama Brasil. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. (Org.). Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 41-52.

MALAVOLTA, E. ABC da adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292 p.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MARIANO, R. D. L. R.; DA SILVEIRA, E. B.; DE ASSIS, S. M. P.; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R. P.; DONATO, V. M. T. S. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v. 1, p. 89-111, 2004.

MASCHIO, Heitor Alves. Fornecimento de fósforo mineral associado à inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato na cultura do sorgo. 2021.

McGILL, W.B.; COLE, C.V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. Geoderma, v.26, p.267-286, 1981.

MENDES, I. de C.; DOS REIS JUNIOR, F. B. Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica. 2003.

MENDES, I. de C.; DOS REIS JUNIOR, F. B. Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica. 2003.

NARLOCH, Charles. Interação microrganismos solubilizadores de fosfatos-fungos ectomicorrízicos e o crescimento de Pinus taeda L. 2002.

NAUTIYAL, C. S. et al. Stress induced phosphate solubilization in bacteria isolated from



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

alkaline soils. *FEMS Microbiology Letters*, v. 182, p. 291-296, 2000.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & COUTO, C. Níveis críticos de fósforo no solo para o eucalipto. *R. Arv*, 6:29-37, 1982.

OLIVEIRA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R. S. M.; CARNEIRO, N. M.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. A. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian cerrado biome. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 25, p. 1-6, 2009.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. et al. Metodologia de aplicação de microrganismos solubilizadores de fósforo em sementes visando melhor aproveitamento deste nutriente pelas plantas. *Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)*, 2013.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SCOTTI, M. R.; CARNEIRO, N. P.; GUIMARÃES, C. T.; SCHAFFERT, R. E.; SÁ, N. M. H. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 9, p. 1782-1787, 2009.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JÚNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020a. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210

PANDEY, P.; MAHESHWARI, D. K. Bioformulation of *Burkholderia* sp. MSSP with a multispecies consortium for growth promotion of *Cajanus cajan*. *Canadian Journal of Microbiology*, Ottawa, v. 53, p. 213-222, 2007.

PANTANO, Glaucia et al. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. *Química Nova*, v. 39, p. 732-740, 2016.

PATERNIANI, Ernesto. Agricultura sustentável nos trópicos. *Estudos avançados*, v. 15, p. 303-326, 2001.

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. *Scientific Reports*, v. 10, article 15615, 2020. DOI: 10.1038/s41598-020-72302-1.

PEREIRA, Hamilton Seron. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. *Visão agrícola*, n. 9, 2009.

PINEDA, M. E. B. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

crecimento vegetal. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. v. 15, n. 1, p. 101-113, 2014.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. et al. Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo. Colombo: Embrapa Florestas, 2009.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; NICODEMO, M. L. F.; DERETI, R. M. Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e Manejo. Embrapa Pecuária Sudeste-Folderes/Folhetos/Cartilhas (INFOTECA-E), 2010.

PRIMAVESI, A. pecuária de corte brasileira e o aquecimento global. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. 42 p.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: NBL Editora, 2002. 263 p.

REIS, M. R.; SILVA, A. A.; GUIMARÃES, A. A.; COSTA, M. D.; MASSENSINI, A. M.; FERREIRA, E. A. Ação de herbicidas sobre microrganismos solubilizadores de fosfato inorgânico em solo rizosférico de cana-de-açúcar. Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 26, n. 2, p. 333-341, 2008.

REIS, V. M. Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 22p

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, p. 151-160, 2001.

RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural, v.38, p.576-586, 2008.

RICHARDSON, A. E. Prospects for using soli microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. Australian Journal of Plant Physiology, Victoria, v. 28, p. 897-906, 2001.

SANTI, C.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. Annals of Botany, v.111, p.743-767, 2013.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ciência Rural, v.38, n.2, p.576-586, 2008.

SCHUMACHER, Mauro Valdir; CECONI, Denise Ester; SANTANA, Cedinara Arruda. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

(Parapiptadenia rigida (Bentham) Brenan). Revista árvore, v. 28, p. 149-155, 2004.

SILVA FILHO, G. N.; NARLOCH, C.; SCHARF, R. Solubilização de fosfatos naturais por microrganismos isolados de cultivos de *Pinus* e *Eucalyptus* de Santa Catarina. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, n. 6, p. 847-854, 2002

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Solubilização de fosfatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 311-319, 2000.

SILVA, Adriano Alves; DELATORRE, Carla Andréa. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2009.

SILVA, E. F. D.; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, p. 1321-1331, 2011.

SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. Avaliação da Adoção de Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) no Brasil. In Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil: Estratégias Regionais de Transferência de Tecnologia, Avaliação da Adoção e de Impactos; Embrapa: Brasília, 2019.

SOUCHIE, E. L.; AZCÓN, R.; BAREA, J. M. Solubilização de fosfatos em meios sólido e líquido por bactérias e fungos do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40, n.11, p.1149-1152, 2005

SOUZA, J. F. D.; PERUSSO, R. L. S.; BONINI, C. D. S.; SOUZA, C. D.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C., ... PEDRO, F. G. Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de capim marandu em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v. 13, n. 1, p. 51-64, 2019.

STOCKDALE, E. A.; SHEPARD, M. A.; FORTUNE, S.; CUTTLE, S. P. Soil fertility in organic farming systems: fundamentally different? Soil Use and Management, Oxford, v. 18, p. 301-308, 2002.

STRZELCZYK, E. & ROZYCKI, H. - Production of B-group vitamins by bacteria isolated from soil, rhizosphere, and mycorrhizosphere of Pine (*Pinus sylvestris* L.). Zbl. Mikrobiol., 140: 293-301, 1985.

SWETHA, S.; PADMAVATHI, T. Study of acid phosphatase in solubilization of inorganic phosphates by *Piriformospora indica*. Polish Journal Microbiology, v. 65, p. 407-412. 2016.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

TANUS, T. A. R. Rizobactérias no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. 2022. 17f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônoma) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2022.

VERARDI, Júnior et al. Nova fonte de fósforo na agricultura: validação no solo e na máquina. In: 6º Mostra de Iniciação Científica, Tecnológica e de Inovação. 2016.

VILELA, L.; BARCELOS, A. O.; SOUSA, D. M. G. de. Benefícios da integração entre lavoura e pecuária. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agrônoma dos termofosfatos e fosfatos reativos naturais. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. 1., 2004, Piracicaba. Anais... Piracicaba: POTAFOS, 2004. p.690-694.

WARREN, C. R. How does P affect photosynthesis and metabolite profiles of *Eucalyptus globules*? *Tree Physiology*, v. 31, p. 727-739, 2011.