

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Isledi William da Silva Borgmann

BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESIMENTO PARA SOJA EM
TERRAS BAIXAS

Santa Maria, RS
2022

Isledi William da Silva Borgmann

**BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESIMENTO PARA SOJA EM
TERRAS BAIXAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Thomas Newton Martin

Santa Maria, RS
2022

BORGMANN, ISLEDI WILLIAM DA SILVA
BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO PARA SOJA EM
TERRAS BAIXAS / ISLEDI WILLIAM DA SILVA BORGMANN.- 2022.
82 p.; 30 cm

Orientador: THOMAS NEWTON MARTIN
Coorientador: ÊNIO MARCHESAN
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2022

1. SOLUBILIZAÇÃO 2. FÓSFORO 3. BACILLUS MEGATERIUM 4.
PSEUDOMONAS FLUORESCENS 5. COINOCULAÇÃO I. MARTIN,
THOMAS NEWTON II. MARCHESAN, ÊNIO III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, ISLEDI WILLIAM DA SILVA BORGMANN, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Isledi William da Silva Borgmann

**BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESIMENTO PARA SOJA EM
TERRAS BAIXAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 04 de fevereiro de 2022



Thomas Newton Martin, Dr. (UFSM) - Videoconferência
(Presidente/Orientador)



Fernanda San Martins Sanes, Dra. (UNIJUI) - Videoconferência



Marcos da Silva Brum, Dr. (UFSM) - Videoconferência

Santa Maria, RS
2022

DEDICATÓRIA

A Deus, pelo dom da vida, pela saúde, e por guiar meus passos em todos os momentos.

AGRADEÇO

A minha mãe Iliani, que sempre esteve ao meu lado com ensinamentos e força para continuar e não desistir dos meus sonhos. A minha noiva Ana Maria pelo incentivo em todos os momentos de minha caminhada. E a todos que de alguma forma fizeram parte dos momentos de alegria e apoio.

DEDICO E AGRADEÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por estar sempre me guiando nos meus caminhos e decisões.

À Universidade Federal de Santa Maria, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao orientador professor Dr. Thomas Newton Martin, pela contribuição na minha formação.

À empresa 3 Tentos por contribuir nos horários determinados para fazer as matérias condizentes com o curso.

À minha noiva Ana Maria Foguesatto pelo apoio, compreensão e incentivo para sempre continuar seguindo.

Aos alunos da iniciação científica por toda a ajuda prestada nas avaliações dos experimentos.

Ao Grupo Ceolin de Uruguaiana, por conceder a área e insumos para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos membros do comitê de orientação: Thomas Newton Martin e Enio Marchesan, pelo auxílio durante o planejamento das atividades.

Aos membros da banca avaliadora Thomas Newton Martin, Fernanda San Martins Sanes, Marcos da Silva Brum e Glauber Monçon Fipke pela disponibilidade e pelas contribuições no trabalho.

À todas as pessoas envolvidas no meu crescimento profissional, muito obrigado!

*“Eu tentei noventa e nove vezes e
falhei. Mas na centésima tentativa eu
consegui. Nunca desista de seus
objetivos, mesmo que eles pareçam
impossíveis, a próxima tentativa pode ser
a vitoriosa”.*

Albert Einstein

RESUMO

BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESIMENTO PARA SOJA EM TERRAS BAIXAS

AUTOR: Isledi William da Silva
ORIENTADOR: Thomas Newton Martin

A população mundial está aumentando exponencialmente, o que por sua vez eleva a demanda por alimentos proporcionalmente. Contudo, a produção de alimentos de forma sustentável deve ser ampliada, e a redução dos fertilizantes não renováveis precisa ser repensada. Como opção pode-se utilizar bactérias capazes de promover o crescimento das plantas e biosolubilizar os nutrientes já existentes no solo. Objetiva-se com a presente pesquisa avaliar a utilização de bactérias biosolubilizadoras de fosfato na cultura da soja em terras baixas. O experimento foi realizado com delineamento blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos distribuídos em um bifatorial, em que no primeiro fator representa a coinoculação de *Bradyrhizobium spp* com as seguintes bactérias: (i) *Azospirillum spp*; (ii) *Pseudomonas fluorescens*; (iii) *Bacillus subtilis*; (iv) *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*; (v) *Azospirillum spp* + *Pseudomonas fluorescens*; (vi) *Azospirillum spp* + *Bacillus subtilis*; (vii) *Azospirillum spp* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*; (viii) *Azospirillum spp* + *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*, e (ix) Testemunha sem a utilização de bactérias em inoculação. No segundo fator foram testadas as doses de adubo fosfatado (0, 50, 100, 150 kg de P_2O_5 ha⁻¹). Foram avaliados o número de nódulos planta⁻¹, massa de nódulos planta⁻¹, massa de mil grãos, produtividade, análise de tecido e capacidade de solubilização das bactérias em laboratório. O presente estudo evidencia a especificidade dos gêneros de bactérias em promover associações com a planta e produzir diferentes respostas de interesse agrônômico. A bactéria *Pseudomonas fluorescens* aumentou o teor de fósforo no tecido vegetal da soja em 232% quando comparada à testemunha, podendo ser indicadas para aumento de fósforo orgânico no solo através dos restos culturais deixados ao solo durante a colheita mecanizada. A maior produtividade da soja para o experimento de campo foi decorrente da utilização da coinoculação das bactérias *Bradyrhizobium*, *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* com utilização de 150 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , indicando biosolubilização do fósforo contido no solo, ou mesmo, do fósforo empregado via fertilizante na semeadura da soja. As bactérias quando testadas em laboratório, apresentaram formação de halo de solubilização em meio líquido, onde a bactéria *Bacillus subtilis* foi classificada como média biosolubilizadora de fósforo, e as bactérias *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* e *Pseudomonas fluorescens*, classificadas com baixo potencial de biosolubilização.

Palavras-chave: Solubilização. *Bacillus subtilis*. *Bacillus megaterium*. *Pseudomonas fluorescens*. Fosfato. Fósforo.

ABSTRACT

GROWTH PROMOTING BACTERIA FOR SOYBEAN IN THE LOWLAND

AUTHOR: Isledi William da Silva Borgmann

SUPERVISOR: Thomas Newton Martin

The world population is rising exponentially, which in turn raises the demand for food proportionately. However, sustainable food production must be scaled up, and the reduction of non-renewable fertilizers needs to be rethought. As an option, bacteria capable of promoting growth and biosolubilizing nutrients that already exist in the soil can be used. The aim of this research is to evaluate the use of phosphate biosolubilizing bacteria in lowland soybean crop. The experiment was carried out in a randomized block design with four replications. The treatments distributed in a bifactorial, in which the first factor represents the co-oculation of *Bradyrhizobium* spp with the following bacteria: (i) *Azospirillum* spp; (ii) *Pseudomonas fluorescens*; (iii) *Bacillus subtilis*; (iv) *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*; (v) *Azospirillum* spp + *Pseudomonas fluorescens*; (vi) *Azospirillum* spp + *Bacillus subtilis*; (vii) *Azospirillum* spp + *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*; (viii) *Azospirillum* spp + *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*, and (ix) Witness without the use of bacteria in inoculation. The second factor was tested as phosphate fertilizer doses (0, 50, 100, 150 kg of P_2O_5 ha⁻¹). The number of plant-1 nodules, plant-1 nodule mass, thousand-grain mass, yield, tissue analysis and bacterial solubilization capacity in the laboratory were measured. The present study highlights the specificity of bacterial genera in promoting associations with the plant and producing different responses of agronomic interest. The bacterium *Pseudomonas fluorescens* increased the phosphorus content in the plant tissue of soybean by 232% when compared to the control, which can be indicated for an increase in organic phosphorus in the soil through the crop residues left in the soil during a mechanized harvest. The higher soybean yield for the field experiment due to the use of co-oculation of the bacteria *Bradyrhizobium*, *Bacillus megaterium* and *Bacillus subtilis* with the use of 150 kg ha⁻¹ of P_2O_5 , providing biosolubilization of the phosphorus contained in the soil, or even the phosphorus made via fertilizer in sowing soybeans. As bacteria when tested in the laboratory, formation of a solubilization halo in a liquid medium, where a *Bacillus* bacterium is solubilized as a phosphorus biosolubilizing medium, and as *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* and *Pseudomonas fluorescens*, a class with low biosolubilization potential.

Keywords: Solubilization. Biosolubilization. *Bacillus subtilis*. *megaterium*. *Pseudomonas fluorescens*. Phosphate. Phosphor.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Mapa político-administrativo mostrando a localização do experimento. 1: Brasil; 2: Estado do Rio Grande do Sul; 3: Município de Barra do Quaraí... 28
- Figura 2** - Dados sobre precipitação pluviométrica (mm), temperatura máxima (T. máx °C) e temperatura mínima (T. mín. °C) no ciclo de cultivo 2019/2020 em Barra do Quaraí-RS, obtido por meio do banco de dados do INMET. A soma da precipitação foi distribuída no gráfico para o período de 10 dias, entre as datas de pré plantio em 01 de novembro de 2019, até o período pós colheita em 30 de abril de 2020..... 31
- Figura 3** – Fluxograma exibindo a rotina de preparação para realização das amostras foliares de soja, a partir da coleta de tecido e preparo em laboratório. 35
- Figura 4** – Modelo ajustado do coeficiente de determinação constando os nove tratamentos de bactérias utilizados no sulco de semeadura e as quatro doses de P₂O₅. Análise da fonte de variação Número de Nódulos (NNOD), do experimento de campo em Barra do Quaraí – RS. 41
- Figura 5** - Modelo ajustado do coeficiente de determinação constando os nove tratamentos de bactérias utilizados no sulco de semeadura e as quatro doses de P₂O₅. Análise da fonte de variação Massa de Nódulos (MNOD), do experimento de campo em Barra do Quaraí – RS. 43
- Figura 6** - Modelo ajustado do coeficiente de determinação constando os nove tratamentos de bactérias utilizados no sulco de semeadura e as quatro doses de P₂O₅. Análise da fonte de variação Produtividade (PROD), do experimento de campo em Barra do Quaraí – RS..... 45
- Figura 7** - Análise de regressão para fonte de variação Massa de mil grãos (g) de soja, significativa para doses de P, em experimento de campo realizado em Barra do Quaraí- RS 51
- Figura 8** - Gráfico de barras em ordem decrescente de teores de fósforo em análise foliar de soja para avaliação da coinoculação de *Bradyrhizobium* e demais bactérias utilizadas no sulco de semeadura, identificado por meio da digestão nitroperclórica, seguida da colorimetria com amarelo de vanadato... 56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos obtidos a partir da análise química do solo em dez pontos de coleta na área experimental de Barra do Quaraí- RS, realizada em pré semeadura da soja.....	29
Tabela 2 - Atributos obtidos a partir da análise biológica do solo em dez pontos de coleta na área de Barra do Quaraí- RS, realizada em pré semeadura da soja com profundidade de 0-10 e 10-20 cm para visualização da atividade microbiana do solo.....	30
Tabela 3 - Índice de unidades formadoras de colônias in vitro entre as bactérias solubilizadoras de fosfato 12 horas após inoculação, contendo as bacterias <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus megaterium</i> + <i>Bacilus subtilis</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , em meio de cultura.....	37
Tabela 4 - Resumo da análise de variância, com os quadrados médios das variáveis número de nódulos (NNOD), massa seca de nódulos (MNOD), massa de mil graos (MMG) e produtividade de grãos (PROD). UFSM, RS. 2022.....	39
Tabela 5 – Massa de mil grãos (g) de soja, significativa para bactérias coinoculadas com <i>Bradhiryzobium</i> e bactérias biosolubilizadoras de fósforo, realizado em experimento de campo em barra do Quaraí-RS.	49
Tabela 6 - Resumo da análise de variância, com os quadrados médios da variável análise foliar de fósforo para soja (PFAS), no experimento de campo conduzido em Barra do Quaraí e laboratório de solos UFSM, RS 2022	53
Tabela 7 – Teores de nutriente fósforo, estabelecido para a cultura da soja pelo método índice DRIS, para interpretação dos resultados da análise foliar	54
Tabela 8 - Experimento de laboratório para formação de halo de solubilização com microrganismos considerados biosolubilizadores de fósforo, em duas datas de avaliação após incubação	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 SOJA E CULTIVO EM TERRAS BAIXAS	13
2.2 FÓSFORO	16
2.3 CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DE TERRAS BAIXAS	18
2.4 MECANISMOS DE ABSORÇÃO DE FÓSFORO PELAS RAÍZES DA PLANTA, E TRANSPORTE DE FOSFATO EM SOJA	19
2.5 MICRORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO COM CAPACIDADE DE SOLUBILIZAR FÓSFORO	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	28
3.2 CULTIVAR UTILIZADA E TRATOS CULTURAIS	32
3.3 EXPERIMENTO DE CAMPO:	33
3.3.1 Avaliação do número de nódulos por planta e massa de nódulos ...	34
3.3.2 Produtividade de grãos e massa de mil grãos	34
3.4 ANÁLISE FOLIAR DE SOJA PARA AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NO TECIDO VEGETAL	35
3.5 EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO PARA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE SOLUBILIZAÇÃO DAS BACTÉRIAS EM MEIO DE CULTIVO	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1 EXPERIMENTO DE CAMPO	38
4.2 RESULTADO ANÁLISE FOLIAR DE SOJA PARA AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE P NO TECIDO DA PLANTA	52
4.3 RESULTADOS EXPERIMENTO DA BIOSOLUBILIZAÇÃO EM LABORATÓRIO	55
5 CONCLUSÕES	59
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	60
APÊNDICE	81

1 INTRODUÇÃO

O cultivo da soja em terras baixas tornou-se importante para os rizicultores, por viabilizar áreas anteriormente não utilizadas, visando a rotação da cultura com o arroz irrigado. Esse manejo possibilita a utilização de herbicidas de diferentes mecanismos de ação, visando eliminar espécies invasoras de difícil controle estabelecidas com a monocultura do arroz. Um problema recorrente em solos de terras baixas para o cultivo da soja é a disponibilidade do fósforo para as plantas. Isso ocorre devido a lâmina de água utilizada para o desenvolvimento do arroz, exercer efeito tampão do solo, e dessa forma não é necessária calagem. Desse modo, no ambiente aeróbico de produção da soja, ocorre a retenção do fósforo nos coloides do solo, inibindo a disponibilidade de P em detrimento do baixo pH dessas áreas de produção.

A produção da soja, bem como de alimentos em geral, está estritamente ligada a disponibilidade de fósforo (P). Esse macronutriente mineral é considerado essencial para o desenvolvimento e manutenção do crescimento das plantas. Porém, em solos brasileiros, esse nutriente apresenta baixa disponibilidade para as culturas, repercutindo na importação de aproximadamente 90% de todo o fósforo utilizado. No ano de 2016, o Brasil importou 24,96 milhões de toneladas de fertilizantes e os fosfatados representaram 23% do total (DNPM, 2016). A dinâmica do nutriente P no solo está associado a fatores ambientais, onde a sua disponibilidade pode ser afetada pela interação da planta com microrganismos presentes no solo, os quais tem habilidade para reter ou liberar íons ortofosfato, e ainda por propriedades físico químicas e mineralógicas do solo. Dessa forma, em solos de terras baixas, o fósforo está presente na forma de minerais primários, sendo na maior parte encontrada em sua forma orgânica ou na forma mineral adsorvida fracamente à minerais secundários.

As estratégias adotadas pelas plantas, incluindo a interação com microrganismos do solo, apresentam-se como uma alternativa economicamente favorável. A habilidade de microrganismos solubilizarem o fósforo, abre precedente para a economia de fontes minerais não renováveis à longo prazo, uma vez que os estoques globais de minerais fosfatados tendem a diminuir e carecer em qualidade para a agricultura. A utilização de bactérias mostra-se,

ainda, ecologicamente correta, pois diminui a eutrofização de rios e mananciais, que é considerado um dos principais problemas, causado pelo aporte excessivo de nutrientes, predominantemente nitrogênio e fósforo, provenientes de escoamentos superficiais de regiões agrícolas.

Os microrganismos presentes no solo, são capazes de aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas através de processos de mineralização e solubilização, onde excretam principalmente ácidos orgânicos, agindo na dissolução do fósforo ou realizando ligações quelantes sobre cátions de Ferro e Alumínio, causando a liberação de fosfatos solúveis. As formas orgânicas de fósforo também podem ser mineralizadas por enzimas fosfatases, capazes de catalisar a hidrólise de ésteres e anidridos de H_3PO_4 (ácido fosfórico). Além da disponibilização do fósforo para as plantas, os microrganismos são comumente citados por apresentarem diversos benefícios as plantas, bem como a promoção de crescimento em plantas.

Objetiva-se com a presente pesquisa avaliar a utilização de bactérias biosolubilizadoras de fosfato na cultura da soja em terras baixas, avaliando seu desempenho para aumento de teor de fósforo no tecido vegetal, e produtividade de grãos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOJA E CULTIVO EM TERRAS BAIXAS

A soja, uma aleuroleaginosa, pertencente à família das Fabaceae, tem grande importância para a economia do Brasil. Obteve-se com o valor bruto da produção agropecuária R\$ 651,5 bilhões em 2019, onde R\$ 400,7 bilhões provieram da produção agrícola, e R\$ 250,8 bilhões no setor pecuário. A soja representou 25% da produção agropecuária brasileira (CNA, 2020).

Nas últimas três décadas, o cultivo da soja atingiu um significativo crescimento em produção, passando de 15.394,5 milhões de toneladas na safra de 1989/1990, para 106.123,1 milhões de toneladas na safra de 2019/2020 (CONAB, 2021b). Na safra 2019/2020 houve exportações de soja de 75,4 milhões toneladas em grãos e seus derivados, como óleos e farelo de soja (CNA, 2020).

No estado do Rio Grande do Sul o ecossistema de terras baixas de clima temperado, tem como principal componente o cultivo de arroz e a criação extensiva de gado. Para aumentar a rentabilidade nestas áreas, tem-se buscado a diversificação do uso de terras baixas por meio da rotação de culturas com o arroz irrigado, envolvendo espécies de sequeiro, principalmente a soja. Por sua vez, a soja tornou-se auxílio importante no complemento da renda dos rizicultores, aproveitando áreas anteriormente não utilizadas.

A safra 2020/2021 apresenta estimativa de área semeada de soja em cerca de 38.508,7 milhões de hectares, com produtividade de 3.528 kg ha⁻¹, contudo, a produção brasileira de grãos de soja chega à marca de 135.861 milhões de toneladas (CONAB, 2021a). A área de soja semeada em terras baixas aumentou em relação aos últimos anos no estado do Rio Grande do Sul, com cerca de 341.565 hectares colhidos na safra 2019/2020, com produtividade média das áreas de soja em rotação com arroz de 1.904 kg ha⁻¹. A produção total da soja em terras baixas no Rio Grande do Sul foi de 650.339,760 toneladas (IRGA, 2020).

Com o crescimento do cultivo da soja em ambiente de terras baixas, faz-se necessário amplo domínio sob a drenagem dos solos, isso porque existem restrições ao crescimento e desenvolvimento das plantas que se encontram em condições de inundação do solo. Os solos de terras baixas têm maior probabilidade de permanecerem saturados com água, diminuindo os níveis de oxigênio disponível, devido à baixa difusão na água, além de prejudicar o processo de respiração das raízes e reduzir a absorção de água pelas plantas (Oliveira and Gualtieri, 2017). Com a diminuição da absorção da água, também há diminuição do transporte de carboidrato para as folhas, reduzindo crescimento e atividades metabólicas.

O excesso hídrico no solo é prejudicial para a maioria das plantas terrestres, para completarem seu ciclo nesses ambientes sob estresse, as plantas desenvolvem certas estratégias (Lira et al., 2013; Nascimento et al., 2015), como adaptações morfológicas e anatômicas. A saturação dificulta o crescimento e pode resultar em morte prematura das plantas. Algumas espécies, têm notável capacidade para suportar essas condições e certas espécies podem até mesmo crescer vigorosamente em resposta à inundação, sendo que a tolerância ao encharcamento pode variar dentro da mesma (Serres and

Voeselek, 2008). Contudo, o entendimento da ecologia e interação das plantas em ambientes propensos a inundações e a fisiologia levando em conta aspectos de aclimação, são essenciais, para a identificação de genótipos tolerantes.

Dentro da variabilidade genética, há respostas diferentes das plantas à inundação, incluindo alterações em sua arquitetura, metabolismo, e no acúmulo de biomassa (Mommer et al., 2006; Serres and Voeselek, 2008). O cultivo em condições de alagamento requer estudo prévio e avaliação das cultivares que possam ser utilizadas nestas situações, buscando aquelas que apresentem maiores rendimentos nesta condição.

O encharcamento causa estresse com efeito primário, ocasionado pela redução da difusão de gases através dos poros saturados pela água (a difusão dos gases dissolvidos na água em relação ao ar é 104 vezes menor), o que leva a raiz a hipóxia (Irfan et al., 2010). Esta barreira na difusão do gás, pode reduzir as concentrações em nível celular de O₂ restringem a respiração aeróbica (Gibbs and Greenway, 2003; Fukao and Bailey-Serres, 2004). Esses estresses causam na planta baixa condutividade hidráulica, e as alterações das características do solo, levam a uma redução significativa na absorção de nutrientes. Conseqüentemente ocorre o fechamento dos estômatos e declínio da fotossíntese, sendo agravado com o período prolongado de alagamento (Bloom and Voeselek, 1996; Colmer and Voeselek, 2009). A necessidade de produzir ATP e NADPH nas raízes anaerobicamente via glicólise e da fermentação etanólica provoca na planta uma "crise" energética e de carboidratos, fazendo com que a planta reduza sua capacidade de repor os açúcares gastos e reservas de amido, visto a inibição da fotossíntese (Colmer and Voeselek, 2009).

Quando submetidas a curto período de tempo, tem-se uma aclimação metabólica com a indução da produção das "proteínas de estresse anaeróbico", que incluem as enzimas da via glicolítica e fermentativa, podendo ajudar as plantas a tolerar a hipóxia nas raízes (Sairam et al., 2008). As adaptações das plantas submetidas ao estresse de longo prazo estão diretamente ligadas a mudanças morfológicas no sistema radicular, desenvolvendo aerênquima e raízes adventícias que possam melhorar a troca de gases com o ambiente (Gibberd et al., 2001).

Para mitigar os efeitos da má drenagem do solo e conseqüentemente os estresses causados pelo encharcamento, foi desenvolvido alternativas de

manejo eficientes para eliminar a água da superfície do solo. O sistema de cultivo da soja em camaleões facilita a drenagem e reduz o uso de água para a irrigação. Manejado de forma adequada, esse sistema aumenta a nodulação, fixação biológica do nitrogênio e a produtividade de grãos de soja em áreas de rotação com arroz irrigado (Marchesan, 2016).

2.2 FÓSFORO

O aumento da demanda global por alimentos tem aumentado substancialmente o uso de fertilizantes fosfatados (Cong et al., 2020). Este macronutriente é fundamental no metabolismo das plantas, atua na transferência de energia das células, na respiração e na fotossíntese. É componente estrutural dos ácidos nucleicos de genes e cromossomos, coenzimas, fosfoproteínas e fosfolípídeos (Billah et al., 2019). A qualidade de P em solos tropicais é muito baixa (Ulrich and Frossard, 2014), em grande parte dos solos agrícolas, uma pequena porcentagem de P do solo fica disponível para as plantas, em decorrência de sua baixa solubilidade e da falta de mobilidade deste nutriente no solo (Anzuay et al., 2015; Xu et al., 2020). O conteúdo de P do solo é cerca de 0,05%, e somente 0,1% desse conteúdo de P no solo, está disponível para absorção e uso de plantas (Alori et al., 2017).

O intemperismo químico ou biológico dos minerais em sua forma primária, tem influência considerável no ciclo biogeoquímico do P (Hao et al., 2020; Jiang et al., 2018). O intemperismo sobre tudo dos minerais fosfatados depende de diversas condições ambientais, incluindo materiais de formação da rocha fosfática, erosão ambiental, composição atmosférica, frações dos microagregados do solo e atividade dos fatores biológicos (Laakso et al., 2020; Hao et al., 2020; Berhe et al., 2018).

Sabendo a importância desse nutriente para as plantas, a complexa ação do intemperismo e da sua disponibilidade, é necessário utilizar ferramentas para melhor a ação dos fertilizantes fosfatados, onde o P apresenta eficiência menor que 10%. Isso porque após sua aplicação nas lavouras, esse elemento forma complexos insolúveis de forte atração com outros elementos presentes no solo, bem como, alumínio (Al), ferro (Fe), ou cálcio (Ca), impedindo a absorção pelas plantas (Zhu et al., 2018; Dash et al, 2017; Maltais-Landry, 2014). Outra fração

importante do P no solo, são os fosfatos orgânicos, provenientes da matéria orgânica da decomposição de animais e plantas (Sanguin et al., 2016), por exemplo, ésteres de ortofosfato, fosfonatos e polifosfatos, compostos principalmente de vida curta e podem apresentar até 65% do P total na maioria dos solos (Fabianska et al., 2019; Dodd and Sharpley, 2015), desempenhando papel importante na ciclagem de P no ecossistema e na agricultura (Dash et al., 2017, Mukhametzyanova et al., 2012).

O Fosfato de inositol (ácido fítico), é origem das fontes orgânicas mais ricas de P na natureza, porém, é um dos menos disponíveis para as plantas, devido à sua alta capacidade reativa com íons metálicos, aminoácidos, carboidratos e proteínas (Mukhametzyanova et al., 2012; Singh and Satyanarayana, 2012). Por esta razão o incremento de fertilizantes fosfatados são utilizados na agricultura, com taxas entre 50 e 100 kg de P ha⁻¹ para atingir níveis de alta produtividade e otimizar a produção agrícola (George et al., 2016; Priyadharsini and Muthukumar 2017).

Os fertilizantes fosfatados são tipicamente produzidos pelo tratamento químico de minerais de fosfato, um processo caro que pode causar danos ambientais devido ao uso de alta energia e tratamento com ácido sulfúrico em altas temperaturas (Vassilev et al., 2006). Além disso, a qualidade das rochas fosfáticas está diminuindo, fazendo com que aumentem os gastos com a produção de fertilizantes fosfatados (Mendes et al., 2013), logo este aumento na produção de fertilizantes é repassado ao produtor, causando baixa eficiência econômica da produção rural e ainda aumento da poluição de águas e recursos ambientais (Jez et al., 2016). Possivelmente, o pico da mineração global de fósforo está estimado para ocorrer em 2030, e as minas de P globais esgotarem nos próximos 50 a 100 anos (Xiong et al., 2020; Fixen and Johnston, 2012).

Uma forma de tornar o P mineral e o P orgânico adsorvido nas partículas do solo (cátions, matéria orgânica e óxidos e hidróxidos de Fe e Al) disponível para as plantas, é pela ação de uma diversa comunidade microbiana presente no solo (Schachtman et al., 1998). Os microrganismos possuem mecanismos para melhorar a aquisição de nutrientes pelas plantas (Uribe et al., 2010), entre elas, listamos a solubilização de fosfatos orgânicos através da produção de ácidos orgânicos (Wei et al., 2018), e a mineralização de fontes orgânicas de fosfato por efeito da ação de fosfatases, como a fosfomonoesterase e as fitases

(Zhu et al., 2018; Ramesh et al., 2014). Dentre os microrganismos, as bactérias do gênero *Bacillus*, são reconhecidas como um dos grupos mais relevantes do chamado rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR), por realizarem esses mecanismos (Shalini et al., 2019).

2.3 CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DE TERRAS BAIXAS

Nas condições de solo não alagado e com utilização de fertilizantes fosfatados, há intensa transferência de P da solução para a fase sólida, onde este elemento está mais estável, por meio do processo de adsorção química ou específica com óxidos de Fe e Al, em que os grupos OH⁻ e OH₂⁺ ligados monocordenadamente ao metal (Fe ou Al) são trocados pelo fosfato (Parfitt, 1979). Em terras baixas, com o alagamento do solo para o cultivo de arroz, o ambiente químico e biológico é profundamente alterado em relação ao anteriormente oxidado. Nesta condição, após consumo do oxigênio molecular, microrganismos anaeróbios passam a utilizar compostos oxidados do solo, inclusive os minerais, como receptores de elétrons.

A partir dessas reações de oxirredução, são modificados os valores do pH e aumenta a disponibilidade de vários elementos (Ponnamperuma, 1972). Exemplo ocorrido com o Fe³⁺ e o Mn⁴⁺ da superfície dos óxidos passam para forma de Fe²⁺ e Mn²⁺, respectivamente, aumentando sua concentração na solução do solo. O fósforo tem sua dinâmica bastante alterada, em razão da adsorção específica na superfície dos óxidos, podendo ser liberado para a solução enquanto há redução do Fe no solo e posterior desestabilização do mineral (Vahl, 1999). Sah and Mikkelsen (1986) relatam que as frequentes mudanças nas condições de oxidação e redução em solo de terras baixas, resultam em modificações na estabilidade de diversos minerais do solo, a ponto de formas de óxidos e hidróxidos de Fe de baixa cristalinidade tornarem-se predominantes com o passar do tempo.

As formas solúveis de P são prontamente fixadas e removidas da solução do solo por reações de adsorção e incorporação na fase sólida. Essas reações químicas são sobretudo fortes nas superfícies de óxidos amorfos de ferro (Fe) e alumínio (Al), fato que ocorre principalmente em ambientes altamente

intemperizados, como os solos vulcânicos e tropicais (Osorno et al., 2018; Osorio and Habte, 2012). Os óxidos de Fe e Al são os minerais de carga variável com maior capacidade de adsorção de P e energia de ligação em comparação com minerais de carga permanente (He and Zhu, 1998).

Grande parte do P adsorvido no solo, é efeito da fertilização de longo prazo, onde esse macronutriente apresenta ligações fortes com óxidos de Al, enquanto que, em solos não fertilizados, o P é adsorvido pelo Fe e outros minerais dominantes na argila dos solos (Eriksson et al., 2015). A forte correlação entre o Fe e o Al, com ortofosfato, produz hidróxidos de Fe – P, e de (Al – P), com uma alta capacidade de sorção, a qual resulta na deposição de P no solo (Wu et al, 2019; Campos et al., 2016). Além disso, a matéria orgânica do solo pode adsorver ou imobilizar ortofosfato em compostos de P orgânico relativamente estáveis e reduzir as concentrações de P dissolvido (Qiao et al., 2017).

O macronutriente P apresenta uma série de atividades bioquímicas indispensáveis no solo, porém, ele não tem ciclos comparados com outros macronutrientes como carbono, nitrogênio e enxofre, os quais são transportados no solo, na água e também na atmosfera (Smil, 2000; Anantharaman et al., 2016). Porém, em ambientes de terras baixas, onde a água presente no solo estimula o processo de anaerobiose, esse macronutriente altera ainda mais sua dinâmica e disponibilidade para as plantas.

2.4 MECANISMOS DE ABSORÇÃO DE FÓSFORO PELAS RAÍZES DA PLANTA, E TRANSPORTE DE FOSFATO EM SOJA

O solo é uma matriz espacialmente heterogênea e diversa em aspectos físicos, químicos e biológicos, quando comparado a um meio de crescimento, o que resultará em algumas das discrepâncias entre o potencial *in vitro* e *in vivo* de microrganismos solubilizadores de fosfato (PSM) para melhorar a nutrição e o desenvolvimento das plantas (Estrada-Bonilla et al., 2021). O P biodisponível mediado por PSM não é utilizado diretamente por microrganismos da planta ou do solo, ele está imediatamente sujeito a precipitação ou reações de adsorção ao redor de onde fora solubilizado ou dessorvido por PSM (Raymond et al., 2020). Conseqüentemente, o PSM melhora a absorção de P do solo para a

planta no ambiente da rizosfera, o que fornece maior potencial de crescimento para PSM, quando comparados em testes realizados em vasos (Mackay et al., 2017; Romero-Perdomo et al., 2021).

Os microrganismos atuantes na rizosfera, são comumente considerados como simbióticos, capazes de colonizar as raízes das plantas melhorando o estresse das plantas à seca, salinidade e metais pesados, e aumento da rizosfera (Khan et al., 2009; Zheng et al., 2019). Os fungos micorrizicos arbusculares (AMF) são o simbiote mais comum para aumentar a capacidade de absorção de P das plantas (Kumar et al., 2020). Além disso, a AMF pode aumentar a absorção de P pela planta, recrutando e enriquecendo microrganismos benéficos, incluindo PSM, nas extensas hifas sob condições de escassez de nutrientes e, desta forma, ampliar a exploração física de solo não esgotado com P (Arora et al., 2013). Os exsudados (açúcares, carboxilatos, aminoácidos) liberados por AMF ou plantas, em seguida, estimulam o crescimento de PSM rizosférico, contribuindo para aumento da mineralização de P orgânico, que, por sua vez, dá efeitos positivos na absorção de P por AMF e plantas (Jiang et al., 2020).

A alta demanda por fertilizantes fosfatados e problemas associados ao ambiente, fizeram com que muitos pesquisadores buscassem fontes alternativas de nutrição visando uma agricultura sustentável (Silva et al., 2016). Uma abordagem sustentável para disponibilização de P na agricultura, envolve o estudo sobre a solubilização de fósforo por microrganismos presentes na rizosfera (Buch et al., 2008; Calle-Castañeda et al., 2018; Manzoor et al., 2017; Povedano-Priego et al., 2017; Wei et al., 2018). Além disso, a solubilização do P por PSM, pode ser reduzida devido à falta de persistência dos microrganismos por recursos de P, ou por irregularidade do ambiente do solo recém-inoculado (Meyer et al., 2019; Romero-Perdomo et al., 2021).

A absorção de fósforo inorgânico pelas raízes das plantas forma uma área de depleção em torno da superfície da raiz, pelo fato de o P ser considerado um dos macronutrientes pouco disponíveis para a planta na solução do solo, em concentrações entre 0,5 e 10 μM (Zhang et al., 2014). Em virtude disso, o sistema radicular das plantas busca explorar o solo e absorver quantidades devidas de nutrientes para o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Zhang et al., 2014).

As plantas absorvem nutrientes do solo preferencialmente através de proteínas transportadoras posicionadas na membrana plasmática das células epidérmicas e dos pelos radiculares. O fósforo inorgânico (Pi) é absorvido do solo, transportado por células do córtex e da endoderme da raiz até atingir o xilema e transportado para as células e tecidos dos diversos órgãos da planta pelo meio de diferentes classes de proteínas transportadoras de fosfato (Nussaume et al., 2011). Em plantas, os transportadores de Pi pertencem a quatro famílias: PHT1, PHT2, PHT3 e PHT4.

Os transportadores envolvidos na aquisição de Pi são codificados por genes PHT1, são prevalentemente expressos em células epidérmicas e na parcela externa do córtex dos pelos radiculares e tem sido sugerido como responsáveis pela absorção de Pi na interface solo-planta. Em disparidade com os genes PHT1, membros das famílias PHT2, PHT3 e PHT4 têm sido associados particularmente com a distribuição de Pi entre compartimentos subcelulares, e seus produtos gênicos estão localizados no retículo endoplasmático (PHT2), membranas de plastídios (PHT3), membrana mitocondrial interna e aparato de Golgi (PHT4) (Lopez-Arredondo et al., 2014).

As proteínas PHT1 transportam Pi sob mecanismo de cotransporte, tipo simporte com íons de hidrogênio (Ullrich-Eberius et al., 1981). Como sucede para outros nutrientes, o Pi é absorvido em maior parte das vezes seletivamente pela raiz por meio de transportadores PHT1 em objeção à um gradiente eletroquímico, dada a acentuada alternância no gradiente de concentração entre o meio externo e o intracelular. Esse processo de absorção é energeticamente mediado pela atividade de proteínas de membrana específicas: ATPases do tipo P, que unidirecionalmente transferem os prótons através da membrana celular às custas da hidrólise de ATP. O gradiente de concentração de prótons e o potencial de membrana gerado formam uma força próton-motriz que facilita a passagem de Pi através das PHT1 contra seu gradiente de concentração (Karandashov and Bucher, 2005). A via direta de absorção de Pi consiste na absorção de P através da epiderme e pelos radiculares, sendo que para progredir a eficiência de absorção de Pi em condições de baixa disponibilidade as plantas podem regular a arquitetura da raiz com finalidade de aumentar a relação superfície de contato da raiz com maior volume do solo, por meio da emissão de pelos radiculares ou de raízes secundárias, principalmente na região

mais superficial do solo onde encontra-se maior volume de raízes (Smith et al., 2003).

No genoma da soja foram identificados 14 genes da família de transportadores PHT1. Destes genes da família de transportadores de Pi no genoma da soja, três GmPT7, GmPT10 e GmPT11 foram referidos como induzidos especificamente pela presença de micorriza arbuscular (Tamura et al., 2012). Se compreende sobre como ocorre o transporte de Pi até os nódulos de soja simbiótica e é praticamente desconhecido o papel da AMF na nodulação ou o aumento do aporte de Pi a este órgão. Em leguminosas, plantas que apresentam nodulação, sabe-se que a epiderme dos nódulos possui aptidão de absorver Pi e que este pode atingir o nódulo pelo tecido vascular (Carter and Tegeder, 2016). O transportador GmPT5 foi observado chave no controle do transporte de Pi entre a raiz e o nódulo, particularmente sob condições de deficiência de P (Qin et al., 2012).

A prevalência dos genes de PHT1 são induzidos pela continência de Pi ou pela simbiose com fungos micorrízicos arbusculares (AMFs) nas raízes, definindo que a absorção de Pi é correlativo de PHT1 (Nussaume et al., 2011). A família de genes codificando proteínas transportadoras PHT1 é monofilética (Karandashov and Bucher, 2005) e nas angiospermas são agrupadas em 4 subfamílias, a subfamília I é composta por genes PHT1 induzidos por FMAs, a subfamília II por genes de mono e eudicotiledôneas, subfamília III são exclusivos de eudicotiledôneas, e a subfamília IV são intrínsecas de monocotiledôneas (Loth-Pereda et al., 2011; Tamura et al., 2012).

2.5 MICRORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO COM CAPACIDADE DE SOLUBILIZAR FÓSFORO

Uma grande quantidade de fertilizantes químicos fosfatados foi utilizada na agricultura afim de promover o crescimento da produção agrícola. No entanto, devido a adsorção e fixação de minerais do solo, o P não está prontamente disponível para as plantas (Sharma et al., 2013). Portanto, melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, bem como aumentar a taxa de utilização de P, é de extrema importância para ganharmos em produtividade e economia no meio agrícola.

O conteúdo de P biodisponível no solo tem importância para aumentar a absorção de P pelas plantas e alcançar rendimentos de colheita mais elevados (Fontaine et al., 2016; Mendes et al., 2017a). A maioria dos estudos considerou que os PSM utilizados como inoculantes, são promissores para aumentar a produtividade das culturas agrônomicas em diferentes nichos agroecológicos (Zaidi et al., 2010; Mendes et al., 2017a; Ahemad, 2015).

No solo, a capacidade microbiológica de absorver P pode apresentar sua atividade enzimática limitada, isso porque ela cessa ou diminui quando os microrganismos se tornam saturados desse macronutriente. A solubilização de fósforo pode ser condicionada às necessidades microbianas, não conseguindo prever que a sua colaboração para o solo seja ilimitada (Nelson et al., 1976). Em processos naturais, pH, temperatura, sais nutricionais, substrato, vitaminas e oxigênio para os organismos aeróbicos, necessitam estar em níveis ótimos para possibilitar que células cresçam e produzam os metabolitos de interesse (Cerri et al., 2008). A capacidade dos PSMs aumentar o P inorgânico solúvel no solo está diretamente relacionada à quantidade de P adsorvido no solo por minerais de argila, enquanto a magnitude da dessorção de P inorgânico por PSM é inversamente correlacionado com as capacidades de adsorção do P inorgânico do solo e em minerais de argila (Osorio and Habte, 2014).

O processo da solubilização do fósforo por microrganismos ocorre basicamente por dois mecanismos de ação sobre o meio. O primeiro conhecido como mineralização, onde o fósforo é liberado em formas prontamente assimiláveis pela atividade enzimática específica de enzimas fosfatases que hidrolisam o P-orgânico presente em fítatos, fosfolipídios e ácidos nucleicos (Nahas and Assis, 1992). O segundo mecanismo de solubilização apresenta extrema relevância, principalmente pela produção de ácidos inorgânicos e orgânicos, em decorrência da diminuição do valor do pH pelos microrganismos solubilizadores de fosfato (Gyaneshwar et al., 2002). Os microrganismos dispõem de inúmeros mecanismos para transformar formas pouco solúveis de fosfato em solúveis, como processos de quelação, acidificação, e reações de troca, porém o mecanismo principal da solubilização é produção dos metabolitos ácidos orgânicos (Hameeda et al., 2008; Young et al., 2013).

Outro mecanismo em estudo para a solubilização de fósforo pode ser a secreção de sideróforos. Os sideróforos são compostos secundários do

metabolismo desenvolvidos por um número de espécies de microrganismos, estes possuem função principal de complexar ferro e outros metais no seu estado insolúvel. Outros microrganismos possuem habilidade de solubilizar formas não disponíveis de fósforo no solo, agregado em moléculas de ferro através da funcionalidade dos sideróforos (Sharma et al., 2013; Santos et al., 2014). Esse fenômeno de dessorção de P por PSM geralmente ocorre vinculado com a queda de pH. Supõem-se que a dessorção do P pode resultar do aumento da solubilidade de Fe e Al pela provável complexação com ácidos orgânicos de baixo peso molecular (Billah et al., 2019; Hoberg et al., 2005). Raízes de plantas e PSM podem excretar alguns ácidos orgânicos com baixo peso molecular, como citrato, oxalato e malato, durante os processos de solubilização do fósforo inorgânico, sendo que esses ácidos são amplamente observados por aumentar a disponibilidade de P inorgânico nos solos através da dessorção (Gross et al., 2020; Liang et al., 2020; Dodd and Sharpley, 2015; Osorio and Habte, 2014).

No processo de solubilização do P por PSM, ânions e ácidos orgânicos podem deslocar o P inorgânico de locais de adsorção, por meio da troca de ligantes produzidos das atividades microbianas e do bloqueio transitório de locais de adsorção do P inorgânico (Andrade et al., 2013). Dependendo das especificidades da dissociação e de grupos carboxílicos, os ácidos orgânicos tem potencial de carregar funções para aumentar a dessorção do P inorgânico. Uma vez que o P insolúvel em solos está sempre inibido pela presença de Ca, Fe, Al, ou cátions de metais pesados (Luyckx et al., 2020).

Frequentemente, em solos ácidos, os íons de fósforo tendem a precipitar com cátions Ferro e Alumínio para compor oxihidróxidos insolúveis, ou minerais P insolúveis secundários. Em solos alcalinos, íons P precipitam com Ca para formar minerais P insolúveis secundários, como a fluoroapatita, hidroxiapatita e cloroapatita (Pastore et al., 2020; Huang et al., 2018). Dessa forma, os processos geoquímicos de P no solo e águas residuais têm efeitos destoantes na estabilização físico-química de compostos orgânicos de P, e no controle ambiental dos níveis de fosfatos inorgânicos (Dodd and Sharpley 2015, Lei et al., 2018; DeJong et al., 2010). O P mineralizado a partir de P orgânico por PSM, em grande parte foi incorporado nas células dos microrganismos como fósforo celular (Tao et al., 2008). Concomitantemente, esses microrganismos do solo podem liberar ligeiramente P orgânico, após a morte celular ou quando ocorre

predação da fauna do solo (Dodd and Sharpley, 2015; Müller and Bünemann, 2014).

Alguns fungos micorrízicos arbusculares (FMA), como os *Rhizophagus* irregulares (Mackay et al., 2017), *Glomus aggregatum* e *Glomus mosseae* (Zai et al., 2015), também podem solubilizar P inorgânico através de exsudação, ou indiretamente por meio da modificação das comunidades de PSMs do solo (Mackay et al., 2017). Devido ao domínio que exercem essa classe de microrganismos e o forte potencial antimicrobiano, as actinobactérias filamentosas têm sido amplamente utilizadas para colonizar tecidos vegetais e produzir antibióticos, antifúngicos e fitohormônios que podem ser benéficos para o crescimento das plantas (Kour et al., 2021; Jog et al., 2014; Hamdali et al., 2008). Ainda, actinobactérias, especialmente *Streptomyces* e *Micromonospora*, são bactérias esporulantes, capazes de solubilizar minerais insolúveis de P no processo de intemperismo no ciclo de P inorgânico do solo (Hamdali et al., 2008; Farhat et al., 2015).

As bactérias solubilizadoras de fósforo representam a maior população de PSM no ambiente do solo, enquanto que os fungos solubilizadores de fósforo exibem maiores habilidades de solubilização de P insolúvel por produzir 10 vezes mais ácidos orgânicos do que PSB, diminuindo o pH de 1 a 2 unidades em meio líquido ou sólido (Jiang et al., 2020). A solubilização do $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ocorre na faixa de pH de 2,5 a 4,0, enquanto a solubilização do FePO_4 transcorre na faixa de 2,0 a 2,5 (Jiang et al., 2020). Assim sendo, observa-se menor eficiência de solubilização de P obtido com ácidos monocarboxílicos (ácidos acético, fórmico, láctico e glucônico) quando comparados com os ácidos di-carboxílicos e tri-carboxílicos (ácidos oxálico, málico e cítrico), os quais apresentam maior coeficiente de acidez (Jiang et al., 2020; Luyckx et al., 2020).

Em conclusão, a produção de ácidos orgânicos como o ácido oxaloacético, succínico, cítrico, tartárico, málico e maleico, podem ser responsáveis pela solubilização de P a partir de fosfato de rocha (Reza et al., 2017). Actinobactérias e cianobactérias ocasionalmente foram referidos para produção e quantificação de ácidos orgânicos na solubilização de P inorgânico (Jog et al., 2014; Chaiharn et al., 2018). *Streptomyces* sp. foram isolados de solo rizosférico de trigo e demonstrou solubilizar $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ por secreção de ácido glucônico em meio suplementado com glicose (Jog et al., 2014).

Bacillus firmus MAJ PSB12 mostrou-se eficiente na solubilização do fosfato tri-cálcio insolúvel, produzindo vários ácidos orgânicos, levando à diminuição do pH do meio de cultura. Além disso, *B. firmus* MAJ PSB12 é capaz de produzir promotores de crescimento de plantas, como Ácido indol-acético e GA3 (Sandilya et al., 2016). O microrganismo *Paenibacillus polymyxa*, pode aumentar a disponibilidade de fósforo no solo para as raízes das plantas e, indiretamente, aumentar a captação do elemento aos fungos micorrízicos arbusculares (Wang et al., 2020). Em avaliação similar, ao estudar 28 espécies de fungos do gênero *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora*, *Gigaspora* e *Entrophospora* nos mangues de Goa, oeste da Índia, D'Souza and Rodrigues (2013) viram que estes apresentam potencial de biossolubilização.

Kanimozhi and Panneerselvam (2011) perceberam a eficiente solubilização de fosfato por *Aspergillus niger* e *Penicillium nigricans*, originários do mangue de Muthupettai, Tamilnadu. As bactérias que possuem a capacidade de solubilização de fosfato colaboram ativamente no ciclo do fósforo, ampliando a biodisponibilidade deste macroelemento para as plantas absorverem (Mardad et al., 2013). O gênero *Burkholderia* tem sido mencionado em estudos como um microrganismo promotor do crescimento em plantas e eficiente na solubilização do fósforo de diferentes fontes (Anandham et al., 2007; Marra et al., 2011; Peix et al., 2001; Azziz et al., 2012). Portanto, é crucial desenvolver e utilizar abordagens mais avançadas para entender os mecanismos de enzimas derivadas de PSM, essencialmente na liberação de ortofosfato orgânicos no ciclo do P do solo (Liang, et al., 2020; Alori et al., 2017; Kour et al., 2021).

Nesse sentido, estudar os PSMs no solo, torna-se uma alternativa produtiva e econômica para a agricultura, uma vez que estes microrganismos podem transformar fosfato em formas solúveis, através da liberação de ácidos orgânicos, e mineralização (Nuruzzaman et al., 2006; Zhu et al., 2018). Conseqüentemente, a manipulação da liberação de ortofosfato das fontes de P orgânico do solo é um importante ciclo de P do solo, capaz de aumentar a disponibilidade de P orgânico do solo para absorção das plantas e reduzir a dependência dos fertilizantes fosfatados (Bi et al., 2018; Bai et al., 2020).

Entende-se que o mecanismo essencial da solubilização de fósforo inorgânico no solo acontece mediante a diminuição do pH do mesmo pela formação de ácidos orgânicos e mineralização do fósforo orgânico por fosfatase

ácida. Nesse parâmetro, ressalta-se ainda, que a manipulação genética de bactérias solubilizadoras de fosfato, podem melhorar a técnica de solubilização, segregando espécies com capacidade adequada para cada tipo de solo e concentração de nutrientes (Behera et al., 2014).

Espera-se que as bactérias no experimento de laboratório, sejam capazes de produzir um halo claro em placas de petri contendo meio de cultura adequado para a reação, com fonte de fósforo com baixa solubilidade. Este halo forma-se devido à produção de ácidos orgânicos no meio circundante aos microrganismos e a solução utilizada quando ocorrer o processo de solubilização (Katznelson, and Mason, 1962).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento de campo foi conduzido na safra 2019/2020 no município de Barra do Quaraí, Estado do Rio Grande do Sul, na fazenda São Pedro, latitude 30° 09' 50.26", longitude 57° 30' 21.40" e 53m de altitude em relação ao nível do mar.

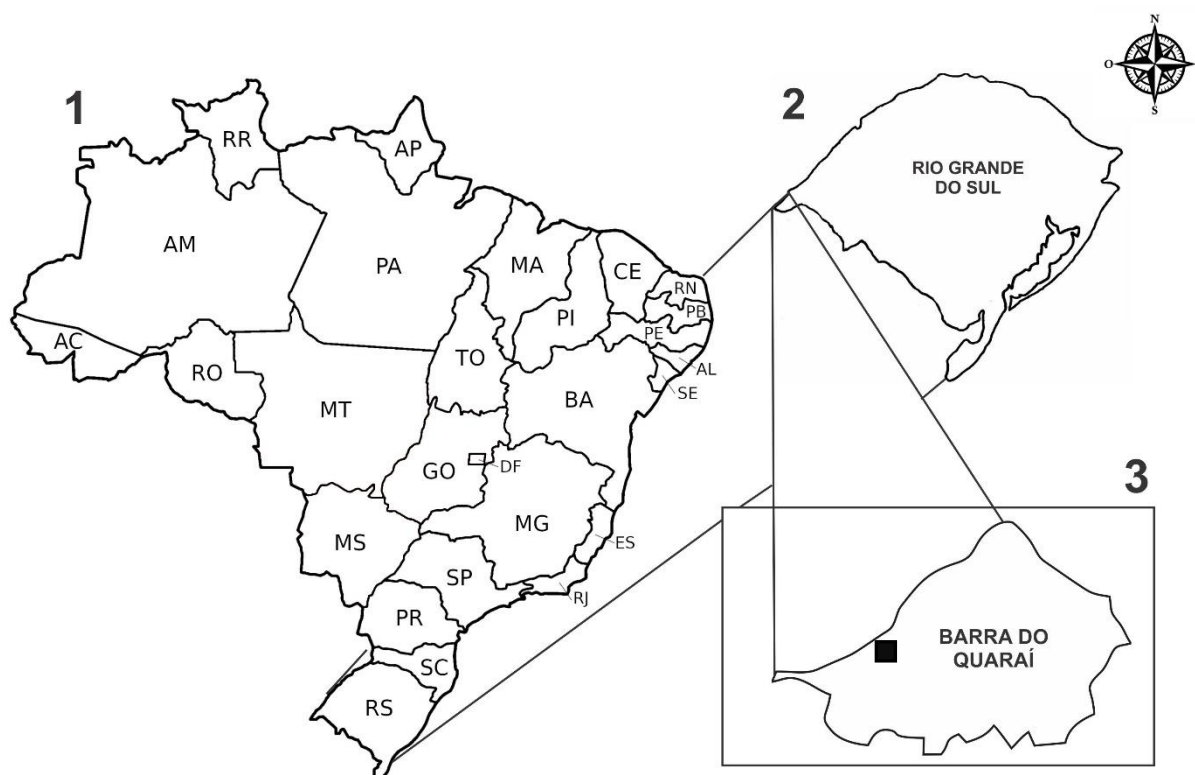


Figura 1 - Mapa político-administrativo mostrando a localização do experimento. 1: Brasil; 2: Estado do Rio Grande do Sul; 3: Município de Barra do Quaraí.

O solo onde foi realizado o experimento apresenta restrições para implantação de culturas devido sua característica de terras baixas, sendo necessário realizar manejo de drenagem para escoamento da água que permanece na superfície do solo. Esse solo é caracterizado como planossolo hidromórfico eutrófico solódico (Embrapa, 2013), planosols (FAO, 2014), e alfisols (USDA Soil Taxonomy, 2014).

Para caracterização química do solo, foram coletadas amostras de solo em pré semeadura da soja. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos

e encaminhadas para o laboratório de solos da Unisc no Rio Grande do Sul. No total, foram coletas 10 sub amostras de solo na profundidade de 0-10 cm na área total do experimento, gerando uma análise de solo final, expressa na tabela 1.

Tabela 1 – Atributos obtidos a partir da análise química do solo em dez pontos de coleta na área experimental de Barra do Quaraí- RS, realizada em pré semeadura da soja.

Argila	pH	P	K	M.O.	Ca	Mg	H + Al	S	CTC	Soma
%	H ₂ O	mg/L	mg/L	%	cmol/L	cmol/L	cmol/L	Mg/L	cmol/L	Bases
30	4,6	1,5	102	1,3	5,3	1,5	10,2	13,6	14,00	50,6

Legenda: P- Fósforo, K- Potássio, M.O. – matéria orgânica, Ca – cálcio, Mg – magnésio, H+Al – acidez potencial, S – enxofre, CTC – capacidade de troca de cátions.

A adubação/correção atendeu as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016). Foi realizada calagem do solo para correção da saturação de bases para 80% em pré semeadura da soja. Como fonte de P foi utilizado o superfosfato triplo (SFT – 46% P₂O₅ solúvel) no sulco de semeadura, com o sistema sulcador da semeadora conforme a dose de cada tratamento. Como fonte de potássio, utilizou-se o cloreto de potássio (KCl 60% K₂O solúvel) realizada a lanço conforme laudo de análise de solo, em duas aplicações distintas, sendo 125 kg ha⁻¹ em pré-semeadura e 75 kg ha⁻¹ 30 dias após semeadura.

Além da análise de fósforo no teor do solo, foi realizado amostra para verificação da atividade dos microrganismos no solo, capazes de auxiliarem no processo de oxidação, ciclagem dos nutrientes do solo e decomposição da matéria orgânica (tabela 2). Os resultados da amostragem de solo são expressos em base seca em mg de p.nitrofenol/kg solo/hora (Mendes et al., 2019). Está sendo calibrado o sistema para diferentes tipos de solo, porém, até o presente momento as tabelas de interpretação dos resultados obtidos na bioanálise de solo são restritas a região do Cerrado Brasileiro (Mendes et al., 2019), não havendo disponibilidade para as demais regiões brasileiras.

Tabela 2 – Atributos obtidos a partir da análise biológica do solo em dez pontos de coleta na área de Barra do Quaraí- RS, realizada em pré semeadura da soja com profundidade de 0-10 e 10-20 cm para visualização da atividade microbiana do solo.

Profundidade da amostragem de solo	β - D - Glicosidade (mg/ kg solo/ hora)	Arisulfatase (mg/kg solo/ hora)
0 – 10 cm	17,60	25,67
10 – 20 cm	23,33	26,16

¹ Valores de C da biomassa microbiana expressos em mg de C/kg de solo; valores de atividade de β -glicosidase, fosfatase ácida e arilsulfatase expressos em mg de p-nitrofenol/kg de solo/h. Fonte: Adaptado de Mendes et al. (2017b). O nome dos bioindicadores deve estar no material e métodos – acho que essa tabela também. Análise do laboratório da Unisc nos apêndices do trabalho.

Analisando as amostras de solo, o valor de β -D- Glicosidade na camada de solo 0-10 cm mostra valor de 17,60 mg/kg solo/ hora, apresenta valor considerado baixo, e ao observamos valores na profundidade na camada de 10 – 20 cm, verificamos valor de 23,33 mg/kg solo/hora, valor este superior comparada a camada mais superficial, porém ainda considerado baixo comparado ao padrão. Da mesma forma os valores da Arisulfatase, 25,67 mg/kg solo/ hora na profundidade 0 – 10 cm, e 26,16 mg/kg solo/ hora na profundidade 10 – 20 cm, mostrando-se baixos para as análises avaliadas (Tabatabai, 1994). Por serem muito sensíveis aos manejos da agricultura, a atividade microbiana pode ser utilizada para averiguar a qualidade do solo.

Anteriormente destinada para o cultivo de arroz, a área recebeu a implantação do sistema de camaleões, proporcionando pelo primeiro ano a semeadura da soja, O clima é quente com pluviosidade significativa ao longo do ano, mesmo o mês mais seco apresenta alta pluviosidade com média anual de 1240 mm (INMET, 2020), a classificação do clima é Cfa (subtropical húmido), e a temperatura média varia de 20,1 °C à 21,0 °C (Tapiador et al., 2019).

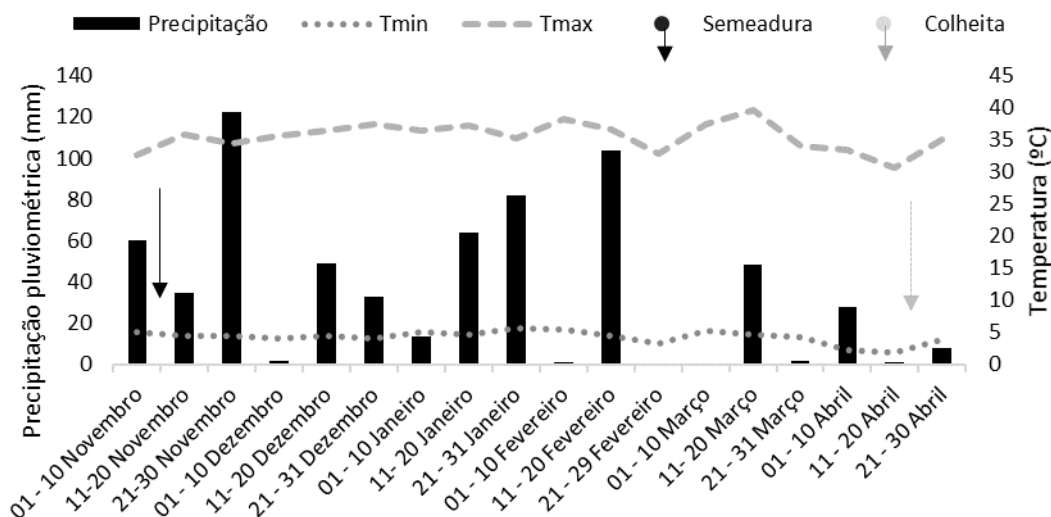


Figura 2 – Precipitação pluviométrica (mm), temperatura máxima (T. máx °C) e temperatura mínima (T. mín. °C) no ciclo de cultivo 2019/2020 em Barra do Quaraí-RS, obtido por meio do banco de dados do INMET. A soma da precipitação foi distribuída no gráfico para o período de 10 dias, entre as datas de pré semeadura em 01 de novembro de 2019, até o período pós colheita em 30 de abril de 2020.

O experimento foi realizado no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas experimentais são constituídas de cinco metros de comprimento, por 5,7 m de largura, expressa em dez fileiras espaçadas 0,57 m, totalizando 28,5 m² de área total. Os tratamentos foram distribuídos em um bifatorial, em que o primeiro fator representa a coinoculação de *Bradyrhizobium spp.* com as seguintes bactérias:

- (i) *Azospirillum spp.*;
- (ii) *Pseudomonas fluorescens*;
- (iii) *Bacillus subtilis*;
- (iv) *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*;
- (v) *Azospirillum spp.* + *Pseudomonas fluorescens*;
- (vi) *Azospirillum spp.* + *Bacillus subtilis*;
- (vii) *Azospirillum spp.* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*;
- (viii) *Azospirillum spp.* + *Pseudomonas fluorescens* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*, e
- (ix) Testemunha sem a utilização de bactérias em inoculação.

O segundo fator avaliado foram as doses de fósforo P₂O₅ (0, 50, 100, 150 kg ha⁻¹).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para detecção da presença ou ausência de interação entre os fatores doses de fósforo e bactérias, sobre a expressão dos caracteres número de nódulos, massa de nódulos, produtividade e massa de mil grãos. A partir daí, com base nestas informações realizou-se o teste de comparação de médias pelo modelo de Scott and Knott (1974). Além disso, foram realizadas regressões para ajuste do grau de polinômio visando estabelecer a máxima eficiência técnica e econômica das variáveis de interesse. Através da equação de grau 2 ($y = a \pm bx \pm cx^2$) foi realizado o modelo matemático $y = -b/2c$, na estimativa da máxima eficiência técnica (MET) e na fórmula $[(t/w) - b]/2c$ para obtenção da máxima eficiência econômica (MEE). O t é valor do insumo (fósforo) e w o valor do produto (soja) que neste período, o quilograma de fósforo correspondeu ao custo de R\$5,75 e o valor pago ao produtor pelo kg de soja em R\$ 3,35

3.2 CULTIVAR UTILIZADA E TRATOS CULTURAIS

A cultivar utilizada foi DM 66i68 IPRO pertencente ao grupo de maturação 6.6, com tipo de crescimento indeterminado, semeada no dia 11 de novembro de 2019, com espaçamento entre fileiras de 0,57 m, e 17 sementes por metro linear, para uma população de plantas de 300.000 plantas ha^{-1} para a cultivar. O tratamento químico de sementes foi realizado industrialmente na data de 03 de outubro de 2019, com produto comercial formulado a base de Tiametoxan (Cruiser®) 350 g l^{-1} com dose de 2,5 ml kg de semente $^{-1}$; Metalaxil 20 g l^{-1} ; Tiabendazol 150 g l^{-1} , Fludioxonil 25 g l^{-1} (Maxim Advanced®) na dosagem de 1 ml para 1 kg de semente; Micronutriente Co 1% Mo 15% (Fortgreen CoMo®) na dosagem de 1,5 ml kg semente $^{-1}$.

O manejo fitossanitário da cultura teve a aplicação de herbicidas Glifosato (Glyphotal®) na dosagem de 1 l ha^{-1} em pré semeadura, aplicação sequencial com S-Metolaclo 960 g l^{-1} (Dual Gold®) dosagem de 1,5 l ha^{-1} , nova aplicação de glifosato, e mistura de inseticida Lambda-cialotrina 250 g l^{-1} (Kaiso®) na dose de 200 ml ha^{-1} para controle de spodopteras. Quarenta e cinco dias após data de semeadura em estágio V4 (Fehr and Caviness, 1977), usou-se fungicida Trifloxistrobina 150 g l^{-1} , Protioconazol 175 g l^{-1} (Fox®) na dose de 0,4 l ha^{-1} com inseticida Teflubenzuron 150 g l^{-1} (Nomolt®) na dose de 0,15 l ha^{-1} . Sessenta dias

após semeadura em estágio R2 (Fehr and Caviness 1977), fez-se a segunda aplicação de fungicida com o produto Picoxistrobina 26,66 g l⁻¹, Tebuconazol 33,33 g l⁻¹, Mancozebe 400 g l⁻¹ (Cronnos[®]), na dose de 2,25 l ha⁻¹, aplicação de inseticida Imidacloprid 480 g l⁻¹ (Imidacloprid Nortox[®]) na dose de 0,2 l ha⁻¹, e inseticida Acefato 970 g l⁻¹ (Perito[®]), na dose de 0,8 kg ha⁻¹ para controle de trips. A terceira aplicação de fungicida ocorreu na data de 05 de fevereiro de 2020, em estágio R4 de desenvolvimento (Fehr and Caviness 1977), usando o fungicida Picoxistrobina 200 g l⁻¹, Ciproconazol 80 g l⁻¹ (Aproach[®]) na dose de 0,3 l ha⁻¹, mistura com 1 kg ha⁻¹ de Mancozebe 800 g l⁻¹ (Manfil[®]), 0,2 l ha⁻¹ do inseticida Lambda Cialotrina 250 g l⁻¹ (Trinca Caps[®]) e 0,8 kg ha⁻¹ de Acefato 970 g l⁻¹ (Perito[®]). Todos os manejos seguiram as orientações das indicações técnicas para a cultura da soja. A colheita da soja foi realizada na data de 17 de abril de 2020.

3.3 EXPERIMENTO DE CAMPO

Para a coinoculação de semeadura foi utilizado o inoculante líquido na concentração de 7×10^9 UFC ml⁻¹ de *Bradyrhizobium japonicum* estirpes semia 587 e semia 5019, sendo utilizada a dosagem de 2 ml kg de semente⁻¹ (100 ml ha⁻¹). Juntamente com o *Azospirillum brasilense*, considerado bactéria promotora de crescimento vegetal (BPCV), estirpe AbV5 e AbV6, com garantia de 2×10^8 UFC ml⁻¹, sendo utilizada a dosagem de 1 ml kg de semente⁻¹ (50 ml ha⁻¹). *Bacillus subtilis* estirpe CCTB04 = CNPSo2720, garantia de $1,0 \times 10^8$ na dose de 2 ml kg de semente⁻¹ (100 ml ha⁻¹). *Pseudomonas fluorescens*, estirpe CCTB03 = CNPSo2719 com garantia de $1,0 \times 10^8$ UFC ml⁻¹, dosagem de 1 ml kg de semente⁻¹ (50 ml ha⁻¹). *Bacillus megaterium*, estirpe CNPMS B119 = BRM033112, com garantia de $4,0 \times 10^9$ dosagem de 2 ml kg de semente⁻¹ (100 ml ha⁻¹). A aplicação dos inoculantes aconteceu no momento da semeadura, com semeadora mecânica própria para uso no sulco de semeadura.

3.3.1 Avaliação do número de nódulos por planta e massa de nódulos

A contagem do número de nódulos por planta NNOD planta⁻¹, foi realizada no estágio fenológico R1 pleno florescimento, identificado por uma flor aberta num dos dois últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida (Fehr and Caviness, 1977). Nessa coleta foram retiradas quatro plantas aleatórias nas fileiras de soja, realizando três repetições em cada unidade experimental, e após coleta, as raízes foram lavadas em água corrente. Após contagem do NNOD, foi verificada a massa seca de nódulos por planta MNOD planta⁻¹. Os nódulos foram levados a estufa de circulação de ar forçada a 60°C até atingir massa constante, e então determinada a sua massa com auxílio de uma balança de precisão de 0,001 g.

3.3.2 Produtividade de grãos e massa de mil grãos

A produtividade da soja PROD foi determinada em área útil de parcela com 6 m² na porção central da unidade experimental, onde as plantas foram colhidas e trilhadas em equipamento estacionário. Após realização da limpeza manual, por um conjunto de peneiras, foi determinado a massa dos grãos em balança analítica e sucessivamente foi corrigida para teor de 13% de umidade, com valores finais convertidos em kg ha⁻¹. A massa de mil grãos foi determinada pela contagem e pesagem de 1000 grãos de soja (MMG), sendo determinada em balança analítica de 0,05 g de precisão para, posteriormente, extrapolar o valor obtido em unidade de g mil⁻¹ sementes.

3.4 ANÁLISE FOLIAR DE SOJA PARA AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE P NO TECIDO VEGETAL

O emprego da análise foliar como diagnose do estado nutricional de plantas baseia-se na premissa fundamental de existência de correlações significativas entre teores de nutrientes determinados nas amostras com o crescimento vegetal ou com os componentes de produção da cultura, podendo revelar a disponibilidade dos nutrientes no solo e a capacidade que a planta tem

para absorvê-los (Rajj, 1991). Os órgãos da planta geralmente empregados para fim de análise são as folhas, onde os centros metabólicos são mais intensos e as alterações fisiológicas, em razão de distúrbios nutricionais, tornam-se mais evidentes. O nível de Pi no tecido vegetal influencia diretamente os processos metabólicos fotossintéticos da transferência de energia (geração de ATP e NADPH), a reorganização de substratos e utilização de fotoassimilados e a difusão de CO₂ nas folhas (Singh et al., 2020).

Em estágio de desenvolvimento R1 (50% das plantas em florescimento), coletou-se 35 folhas trifolioaladas recém maduras sem pecíolo, do terceiro nó vegetativo a contar do ápice da haste principal, realizando quatro repetições por tratamento utilizado a campo. As folhas coletadas foram secas primeiramente ao ar e a sombra, e posteriormente, embaladas em sacos de papel numerados para secar em estufa com circulação de ar forçada com temperaturas entre 65 e 70 °C, até atingir massa constante (Borkert et al., 1994). A moagem das folhas foi realizada em moinho de esferas apropriado para o volume de massa seca foliar, obtendo homogeneização das amostras. Na sequência, o material é alocado em sacos de papel para posterior procedimento com vidraria (Malavolta et al., 1997).

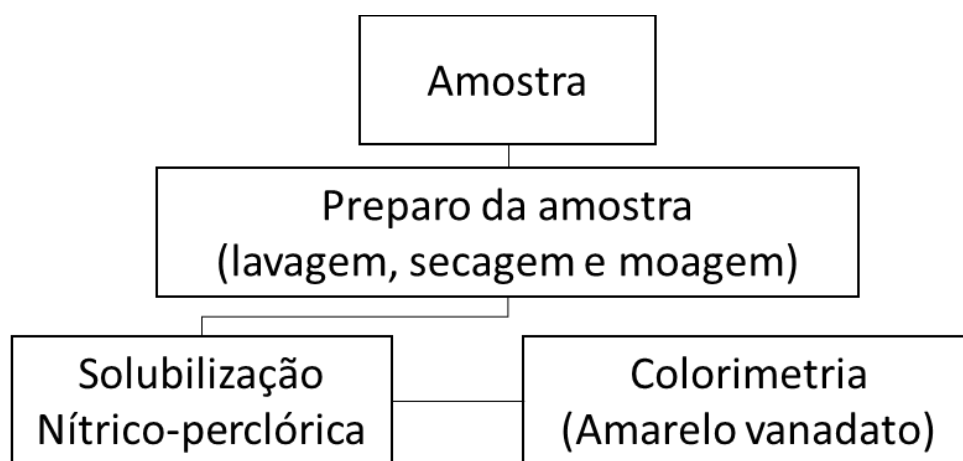


Figura 3 - Fluxograma exibindo a rotina de preparação para realização das amostras foliares de soja, a partir da coleta de tecido e preparo em laboratório.

3.5 EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO PARA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE SOLUBILIZAÇÃO DAS BACTÉRIAS EM MEIO DE CULTIVO

O experimento de laboratório foi conduzido no laboratório de microbiologia da UFSM, utilizando três isolados selecionados x duas datas de avaliação, com três repetições. Para determinação da solubilização de fósforo sob meio líquido, usou-se os microrganismos utilizados no experimento de campo, a fim de avaliar a capacidade de solubilizar o P, onde os tratamentos utilizados foram:

- (i) *Bacillus subtilis*;
- (ii) *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*;
- (iii) *Pseudomonas fluorescens*.

Por apresentar uma grande variedade de organismos, as bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico dependem primordialmente do conhecimento de suas características, onde algumas são citadas com capacidade de solubilização, a qual varia conforme o microrganismo e as condições do ambiente (Silva Filho e Vidor, 2000). O meio de cultura NBRIP, utilizado no experimento de solubilização em laboratório, deve ser feito para suprir uma demanda de 20ml/placa.

A primeira contagem dos microrganismos de interesse e dos contaminantes foi realizada 12 horas após a inoculação (tabela 3), a fim de que as colônias não tomem conta da placa impossibilitando a contagem. Após isso, contagens de 12 em 12 horas foram realizadas para aferir o número. Para o correto procedimento, as placas que apresentaram de 20 a 400 colônias, foram contadas apresentando diluições diferentes para os microrganismos de interesse e para os contaminantes.

Tabela 3 –Índice de unidades formadoras de colônias in vitro entre as bactérias solubilizadoras de fosfato 12 horas após inoculação, contendo as bacterias *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, em meio de cultura.

	Diluição	Aliquota	Interesse	Total de UFC / ml
T1 – <i>Bacillus subtilis</i>	10.000.000 (1,00 ⁷)	0,1	50	50.000.000 (5,00 ⁷)
T2 – <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus megaterium</i>	100.000 (1,00 ⁵)	0,1	1080	108.000.000.000 (1,08 ¹¹)
T3 – <i>Pseudomonas fluorescens</i>	10.000.000 (1,00 ⁷)	0,1	114	114.000.000 (1,14 ⁸)

Foram distribuídos 9,1ml de solução salina em 7 tubos de ensaio, foi coletado 1ml da amostra homogênea (mediante agitação manual) e colocado no primeiro tubo de ensaio. As bactérias ficaram 15 dias armazenadas a 28°C sem fotoperíodo.

Para a avaliação da solubilização de fosfato em laboratório, adotou-se somente presença de halo ou inexistência de halo. A medida do diâmetro (\emptyset) do halo de solubilização, percebido como uma área translúcida ao redor da colônia foi mensurada com a utilização de um paquímetro digital. A partir da obtenção da medida foi determinado o índice de solubilização de fosfato (IS) de cada isolado por meio da fórmula: $IS = \emptyset \text{ Halo (mm)} / \emptyset \text{ Colônia (mm)}$, descrito por Hara and Oliveira (2004). De acordo com Silva Filho e Vidor (2000), a solubilização foi classificada como baixa solubilização ($IS < 2$), média solubilização ($2 \geq IS \leq 3$) e alta solubilização ($IS > 3$). Foi realizado 3 tratamentos de bactérias e três repetições (Behbahani et al., 2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 EXPERIMENTO DE CAMPO

A interação Doses de P X Bactérias, mostrou haver significância para as variáveis número de nódulos planta⁻¹ NNOD, massa de nódulos planta⁻¹ MNOD, e produtividade PROD na cultura da soja (Tabela 4). A fonte de variação massa de mil grãos MMG não apresentou efeito significativo para Doses de P x Bactérias.

A avaliação das médias dos tratamento das bactérias, mostrou efeito significativo para todas as variáveis NNOD, MNOD, MMG, PROD. O tratamento que apresentou maior NNOD e respectivamente maior MNOD, conteve a coinoculação de microrganismos *Bradirhizobium*, *Azospirillum* e *Bacillus subtilis* (figura 4 e 5), com 98 nódulos planta⁻¹ no tratamento utilizando 100 kg ha P₂O₅, pesando 1,1784 kg nódulo planta⁻¹ no mesmo tratamento. O aumento da nodulação deve-se ao microrganismo *Bacillus* inferir na planta a síntese de fito hormônios, como ácido abscísico, ácido indolacético, citocininas e giberelinas que cooperam no desenvolvimento de raízes de plantas e aumento no número de pelos radiculares influenciando na disponibilidade e absorção de nutrientes (Etesami and Maheshwari, 2018), o que consequentemente propicia maior sitio de infecção para os rizóbios e acréscimo na nodulação (Krolow et al., 2004).

O microrganismo *Bacillus* diminuem o estresse causado pelo ambiente por produzirem ácidos que auxiliam na promoção de crescimento, como a ACC-deaminase, que ao ser produzido em maiores quantidades na planta, reduz a concentração do etileno, reduzindo a clorose e a maturação antecipada da cultura (De Souza et al., 2015). Esses microrganismos compreendem cerca de 95% da população de bactérias, e apresentam alta capacidade de produção de endósporos (Miljaković et al., 2020), os *Bacillus* apresentam facilidade de mistura com outras espécies bacterianas para inoculação das culturas (Bettioli et al., 2012; Meena et al., 2017), e são um gênero promissor para biocontrole de culturas (chen et al., 2020). O NNOD e a MNOD, apresentaram nodulação e massa ideal para uma planta de soja, devendo haver no período do florescimento, de 15 a 30 nódulos ou massa seca dos nódulos de 100 a 200 mg

(Hungria et al., 2007), ainda que para altas produtividades se faz necessário maior número de nódulos.

O tratamento das doses de P, mostrou-se significativo para as variáveis MMG e PROD, para as variáveis NNOD e MNOD, não houve diferença significativa, onde o aumento da dose de P não surtiu efeito para o número e massa de nódulos. Na parcela testemunha, onde não houve adição de microrganismos no sulco de semeadura, observou-se independentemente da dose de P utilizada, apenas 2 nódulos planta⁻¹ no sistema radicular. A baixa nodulação da soja onde não houve inoculação com microrganismos na semeadura evidenciam a necessidade das interações que ocorrem na rizosfera e a planta (Zhang et al., 2018), e diferentes exsudatos liberados pelas raízes, podem influenciar nessa interação (Vives-Peris et al., 2018).

Esse fato, evidencia a falta de microrganismos nativos no primeiro ano de semeadura da soja na área do experimento, evidenciado na análise biológica do solo. Os microrganismos apresentam capacidade de fazer associação com a cultura da soja (Nogueira and Hungria, 2014), devido a eficiência das bactérias fornecerem uma elevada quantidade de carbono, nitrogênio e açúcares próxima às raízes, além de fito hormônios e aminoácidos (Kawasaki et al., 2016; Wagi and Ahmed, 2019). O modelo definido para estimar o número de nódulos na parcela de testemunha é representado pela seguinte equação: $-0,0002 x^2 + 0,0413x + 0,8125$, com coeficiente de determinação (r^2) de 0,0559, (figura 4).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância, com os quadrados médios das variáveis número de nódulos (NNOD), massa seca de nódulos (MNOD), massa de mil grãos (MMG) e produtividade de grãos (PROD). UFSM, RS. 2022.

FV	GL	NNOD	MNOD	MMG	PROD
BLOCOS	3	1386,25	0,06	75,56	93301,25
DOSES P	3	1265,19 ^{ns}	0,14 ^{ns}	354,60 [*]	3974725,91 [*]
BACTÉRIAS	8	6921,31 [*]	0,78 [*]	378,53 [*]	3512498,45 [*]
DOSES X BACTÉRIAS	24	1584,96 [*]	0,19 [*]	96,32 ^{ns}	832406,52 [*]
RESÍDUO	105	298,05	0,04	55,33	102681,3
MÉDIA		32,4	0,46	207,95	5392,04
CV (%)		53,26	45,31	3,58	5,94

* significativo a 5% ($p \leq 0,05$); ns = não significativo; FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; CV% = Coeficiente de variação em %;

Ao utilizar-se a coinoculação das bactérias *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*, o tratamento com dose 0 de P, apresentou 98 nódulos planta⁻¹. O tratamento com essas bactérias apresentou comportamento relevante com o aumento da dose de P, onde utilizou-se dose de 150 kg ha⁻¹ P₂O₅, resultou em 44 nódulos planta⁻¹, havendo um decréscimo na nodulação. O modelo definido para estimar o número de nódulos no tratamento utilizando as bactérias *Bradyrhizobium spp* e *Azospirillum spp*, apresentou efeito linear e quadrático, sendo descrito pela seguinte equação: $0,0003x^2 - 0,3005x + 86,725$, com coeficiente de determinação (r^2) de 0,1852 (figura 4). Utilizando diferentes microrganismos, e realizando a contagem do NNOD planta⁻¹, Jaybhay et al., (2017), não encontrou diferenças significativas entre diferentes gêneros de bactérias utilizadas na coinoculação. Contudo, a utilização de microrganismos dos gêneros *Azospirillum*, *Bacillus*, *Brevibacillus*, *Enterobacter*, *Herbaspirillum*, *Paenibacillus* e *Rhizobium* aumentaram a produção de matéria seca da parte aérea e da raiz de plantas de soja quando inoculadas individualmente.

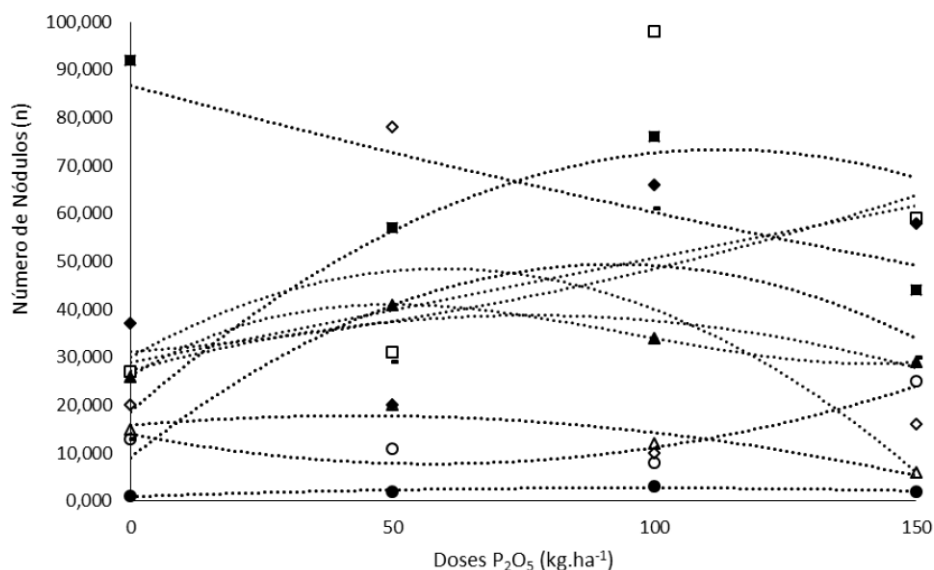


Figura 4 – Modelo ajustado do coeficiente de determinação constando os nove tratamentos de bactérias utilizados no sulco de semeadura e as quatro doses de P₂O₅. Análise da fonte de variação Número de Nódulos (NNOD), do experimento de campo em Barra do Quaraí – RS.

$$T1 \blacksquare = 0,0003X^2 - 0,3005X + 86,725 \quad r^2 = 0,1852$$

$$T2 \circ = 0,002X^2 - 0,2317X + 14,288 \quad r^2 = 0,2181$$

$$T3 \clubsuit = -0,0012X^2 + 0,1058X + 15,538 \quad r^2 = 0,3173$$

$$T4 \blacktriangle = -0,002X^2 + 0,304X + 27,2 \quad r^2 = 0,7767$$

$$T5 \diamond = -0,0052X^2 + 0,62X + 30 \quad r^2 = 0,3324$$

$$T6 \square = -0,0043X^2 + 0,9763X + 18,188 \quad r^2 = 0,3842$$

$$T7 - = -0,0047X^2 + 0,8668X + 8,9625 \quad r^2 = 0,304$$

$$T8 \blacklozenge = 0,2175X + 29 \quad r^2 = 0,2191$$

$$T9 \bullet = -0,0002X^2 + 0,0413X + 0,8125 \quad r^2 = 0,0559$$

Legenda: T1■: *Azospirillum*; T2 ○: *Pseudomonas fluorescens*; T3 ♣: *Bacillus subtilis*; T4▲: *Bacillus Megaterium* + *Bacillus subtilis*; T5 ◇: *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum*; T6 □: *Bacillus subtilis* + *Azospirillum*; T7 -: *Bacillus Megaterium* + *Bacillus subtilis* + *Azospirillum*; T8 ◆: *Bacillus Megaterium* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum*; T9 ●: Testemunha.

A diminuição da nodulação em relação ao aumento na dose de P como observado no tratamento da coinoculação da soja contendo *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* (T1), pode ser referente a diferença da dose de fertilizantes utilizada, doses elevadas empregadas na semeadura podem inibir os passos iniciais da infecção bacteriana no pelo radicular (Bouhmouch et al., 2005), impossibilitando o início do processo de nodulação (Rumjanek et al., 2005). Uma possível razão para afetar o processo de infecção e desenvolvimento inicial dos nódulos, é a alta concentração de determinado fertilizante ou substância salina em inibir a absorção de cálcio, reduzindo desta maneira o crescimento das raízes

e pelos radiculares, decrescendo o potencial de infecção pelo *Bradyrhizobium* (Velagaleti et al., 1990; Yan et al., 2019). Além disso, outros estudos indicam que a redução do desenvolvimento nodular, pelo excesso de sais, está ligada a inibição de enzimas responsáveis pela degradação da sacarose (Gonzalez et al., 2001) ou pela formação de uma barreira cortical que impede a difusão de oxigênio nos nódulos (Serraj et al., 1994) podendo agravar-se com o encharcamento do solo.

O solo apresenta diversidade de nutrientes, fato que torna o local muito competitivo para os microrganismos, sendo por espaço ou por nutriente. Para isso as bactérias precisam apresentar capacidade de competição (crescer de forma rápida e com menos exigência nutricional), ou ainda eliminar seus competidores para conseguirem se estabelecer. A alta dose de fertilizante utilizada, como no caso do fósforo, pode também ter beneficiado o desenvolvimento de *Azospirillum*, diminuindo a população de *Bradyrhizobium*, e conseqüentemente uma menor interação das bactérias desse gênero com a planta, favorecendo a exsudação radicular de acordo com o nutriente que mais favorecer o microrganismo (Lareen et al., 2016)

A coinoculação das bactérias *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* + *Bacillus subtilis*, apresentou modelo gráfico de crescimento no modelo proposto, onde o aumento da dose de P, conseqüentemente resultou no aumento da massa dos nódulos. O modelo definido para estimar a massa de nódulos no tratamento envolvendo os microrganismos *Bradyrhizobium* e *Bacillus subtilis* é representado pela equação: $0,0003x^2 + 0,00506x + 0,66790$, com coeficiente de determinação (r^2) de 0,09169 (figura 5), similar ao trabalho que avaliando as estirpes de *Enterobacter spp.* E *Azospirillum brasilense*, onde a utilização das bactérias aumentaram o número e a matéria seca de nódulos quando coinoculadas, porém em relação ao crescimento vegetal, foi encontrado efeito negativos (Costa et al., 2014).

A utilização da bactéria *Bacillus* em conjunto com as bactérias de coinoculação da soja *Bradyrhizobium* + *Azospirillum*, através da figura 5, evidencia sinergismo na utilização em conjunto dos microrganismos. As bactérias promotoras de crescimento conseguem produzir enzimas (fosfatases ácidas) e ácidos orgânicos, capazes de disponibilizar o fósforo pouco solúvel

ligado a compostos de Fe e Al ou a matéria orgânica (Olanrewaju et al., 2017), promovendo o crescimento e dinâmica do P no solo (Batista et al., 2017).

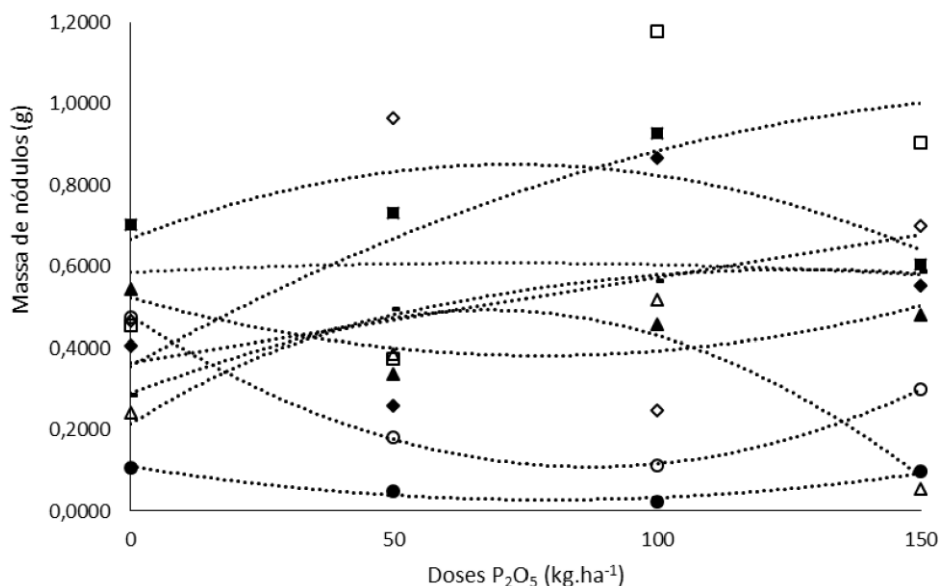


Figura 5 – Modelo ajustado do coeficiente de determinação constando os nove tratamentos de bactérias utilizados no sulco de semeadura e as quatro doses de P_2O_5 . Análise da fonte de variação Massa de Nódulos (MNOD), do experimento de campo em Barra do Quaraí – RS.

$$\begin{aligned}
 T1 \blacksquare &= 0,0003X^2 + 0,00506X + 0,66790 \quad r^2 = 0,09169 \\
 T2 \circ &= 0,00005X^2 - 0,00846X + 0,47839 \quad r^2 = 0,48410 \\
 T3 \spadesuit &= -0,00006X^2 + 0,00822X + 0,21346 \quad r^2 = 0,71263 \\
 T4 \blacktriangle &= 0,00002X^2 - 0,00363X + 0,52390 \quad r^2 = 0,08846 \\
 T5 \diamond &= -0,000005X^2 + 0,00064X + 0,58572 \quad r^2 = 0,00125 \\
 T6 \square &= -0,0002X^2 + 0,00724X + 0,35611 \quad r^2 = 0,41094 \\
 T7 - &= -0,0002X^2 + 0,00479X + 0,28917 \quad r^2 = 0,23332 \\
 T8 \blacklozenge &= -0,00002X^2 + 0,00462X + 0,32313 \quad r^2 = 0,17343 \\
 T9 \bullet &= 0,00001X^2 - 0,00208 + 0,11007 \quad r^2 = 0,12678
 \end{aligned}$$

Legenda: T1 \blacksquare : *Azospirillum*; T2 \circ : *Pseudomonas fluorescens*; T3 \spadesuit : *Bacillus subtilis*; T4 \blacktriangle : *Bacillus Megaterium* + *Bacillus subtilis*; T5 \diamond : *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum*; T6 \square : *Bacillus subtilis* + *Azospirillum*; T7 - : *Bacillus Megaterium* + *Bacillus subtilis* + *Azospirillum*; T8 \blacklozenge : *Bacillus Megaterium* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum*; T9 \bullet : Testemunha.

Conforme a figura 6, referente a produtividade de grãos (PROD) da soja, o tratamento que não foi inoculado (T9), apresentou o menor rendimento de grãos. A utilização de bactérias já consolidadas para manejo da soja, do gênero *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*, aumentaram em 36% a produtividade da soja quando comparada a testemunha, sem adição de fertilizante fosfatado, corroborando com outros trabalhos realizados, onde aumentos na produtividade de grãos de soja variam entre 6,4 a 20% (Fipke et al., 2016; Ferri et al., 2017). O

modelo da testemunha para estimar a produtividade pela equação: $-0,085x^2 + 23,72x + 3436$, com coeficiente de determinação (r^2) de 0,6912, onde não houve utilização de bactérias, e realizado somente variação nas doses de fósforo.

A utilização excessiva de fertilizantes ao longo dos anos tem prejudicado a microflora nativa dos solos, sua textura, a produtividade das culturas, e a atividade enzimática do solo. Esse fato acaba dificultando a degradação de componentes orgânicos e a ciclagem dos nutrientes (Pantano et al., 2016; Singh et al., 2020) A análise da β -D- Glicosidade e da Arisulfatase (tabela 2) servem como um indicativo da atividade microbiana do solo, os quais são responsáveis pela degradação de compostos orgânicos e ciclagem de nutrientes (Miransari, 2013), evidenciando a baixa reatividade do solo do experimento frente ao monocultivo do arroz irrigado, ocasionando a diminuição da biodiversidade do solo e a população microbiana (Ferreira et al., 2017). Caso notório e muito importante de ser salientado, é a observação da máxima produtividade da soja no tratamento da testemunha. Os valores da produtividade da maior dose de fósforo, em comparativo com os demais tratamentos que receberam a inoculação e dose zero de fósforo, apresentam produtividade semelhante. Resta evidente dimensionar o custo da produtividade da lavoura de soja, onde o tratamento que teve a utilização de 300 kg ha^{-1} de super fosfato triplo (00.46.00) e sem inoculação, apresentou 5.230 kg ha^{-1} de produtividade de grãos, frente a produtividade de 5.150 kg ha^{-1} no tratamento com dose 0 de P, mas com a utilização da coinoculação *Bradyrhizobium* + *Azospirillum*.

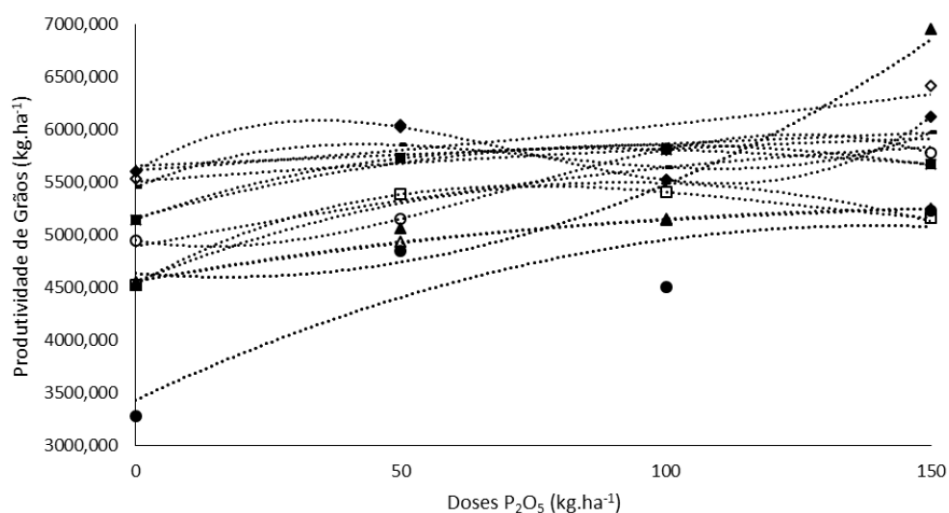


Figura 6 - Modelo ajustado do coeficiente de determinação constando os nove tratamentos de bactérias utilizados no sulco de semeadura e as quatro doses de P_2O_5 . Análise da fonte de variação Produtividade (PROD), do experimento de campo em Barra do Quaraí – RS.

$$T1 \blacksquare = -0,0718X^2 + 14,11X + 5163,7 \quad r^2 = 0,6301$$

$$T2 \circ = -0,0245X^2 + 9,9665X + 4892,4 \quad r^2 = 0,6391$$

$$T3 \spadesuit = -0,0268X^2 + 8,6145X + 4562,1 \quad r^2 = 0,3906$$

$$T4 \blacktriangle = -0,5241X^2 + 29,742X + 4530,8 \quad r^2 = 0,8348$$

$$T5 \diamond = 0,0096 X^2 + 3,3608 X + 5618,2 \quad r^2 = 0,3752$$

$$T6 \square = -0,1105 X^2 + 20,399X + 4560 \quad r^2 = 0,6017$$

$$T7 - = -0,0072 X^2 + 3,7949X + 5512,9 \quad R^2 = 0,2597$$

$$T8 \blacklozenge = 0,0177 X^2 - 0,5626 X + 5708,8 \quad r^2 = 0,1655$$

$$T9 \bullet = -0,085 X^2 + 23,72X + 3436 \quad r^2 = 0,6912$$

Legenda: T1 \blacksquare : *Azospirillum*; T2 \circ : *Pseudomonas fluorescens*; T3 \spadesuit : *Bacillus subtilis*; T4 \blacktriangle : *Bacillus Megaterium* + *Bacillus subtilis*; T5 \diamond : *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum*; T6 \square : *Bacillus subtilis* + *Azospirillum*; T7 - : *Bacillus Megaterium* + *Bacillus subtilis* + *Azospirillum*; T8 \blacklozenge : *Bacillus Megaterium* + *Bacillus subtilis* + *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum*; T9 \bullet : Testemunha.

A figura 6 demonstra no tratamento 4, (*Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*), a maior produtividade de grãos, 6.964 kg ha^{-1} , com utilização de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A curva de produtividade para os microrganismos *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*, foi crescente com o aumento das doses de P na fileira de semeadura, onde obtivemos a produtividade de 4.531 kg ha^{-1} , na dose 0 de P_2O_5 ; 5.069 kg ha^{-1} com dose de 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; 5.157 kg ha^{-1} com dose de 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , e por fim 6.964 kg ha^{-1} , com utilização de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Esse resultado, salienta um efeito positivo e sinérgico da bactéria com a adubação fosfatada para a variável produtividade de grãos. O modelo definido para estimar a produtividade das diferentes doses de P com os microrganismos

Bacillus subtilis + *Bacillus megaterium* é representado pela equação $0,0029X^3 - 0,5241x^2 + 29,742x + 4530,8$, com coeficiente de determinação (r^2) de 0,8348. A maior variação de produtividade ocorreu com os microrganismos que atuam como promotores de crescimento em plantas, não havendo grande variabilidade de produção com microrganismos com capacidade de nodulação da soja, assim como encontrado por Vieira Neto et al. (2017), e Zuffo et al., (2018) avaliando a resposta de cultivares de soja com adubação nitrogenada em associação à inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*, não havendo diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos.

As diferenças encontradas no experimento, em especial a menor produtividade comparada com a maior produtividade de grãos, percebemos a lacuna de produtividade a ser explorado na cultura da soja e o potencial dos produtos biológicos para agregar neste processo. A menor produtividade (sem inoculação e dose 0 P) apresentou produtividade de grãos de 3.287 kg ha^{-1} , e a maior produtividade (*Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* e dose de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5), produtividade de 6.964 kg ha^{-1} , representando uma lacuna de produtividade de 111% do potencial, ou seja, mais do dobro do potencial da produtividade de grãos, conforme observamos na figura 6, referente a estes tratamentos. Valores ainda maiores do qual encontrado por Marinković et al. (2018), que observou aumento na produtividade de 3,92% nas plantas submetidas a coinoculação com rizobactérias (*B. japonicum* e *A. chroococcum*) na cultura da soja, quando comparado ao tratamento controle.

Como observado no experimento de campo, o microrganismo *Bacillus megaterium* associado com *Bacillus subtilis*, e a bactéria *Pseudomonas fluorescens*, aumentaram a produtividade da soja quando a dose de fertilizante fosfatado também foi aumentada, indicando aumento da absorção deste nutriente no sistema solo/raiz com a utilização das bactérias biosolubilizadoras. Através da análise foliar da soja, foi observado aumento da concentração de P no tecido foliar, demonstrando a atividade e mecanismos de absorção de fósforo no solo para a planta (tabela 7). O fator de promoção de crescimento em plantas por bactérias, ou mesmo a solubilização de P inorgânico por PSM é realizada principalmente por produção de ácidos orgânicos que podem reduzir o pH, aumentar quelação de cátions ligados ao P, competir com P em locais de adsorção no solo, e formar complexos solúveis associados com P insolúvel (Ca,

Al, Fe) são os principais mecanismos utilizados por bactérias (Sharma et al. 2013), bem como Ramirez and Velez (2021) observaram a cepa IBUN-02724 como um microrganismo capaz de atender aos critérios de uma bactéria solubilizadora de P, sendo capaz de liberar P orgânico e fontes insolúveis de P.

Trabelsi et al. (2017) demonstram que ocorre solubilização dos fosfatos do solo devido à redução do pH pela liberação de ácidos orgânicos por microrganismos. O que pode ser visto no tratamento contendo maior dose de P em conjunto com a bactéria solubilizadora, explicando o sinergismo entre estes fatores resultando em maior produtividade de grãos. Wyciszkievicz et al. (2016) identificou quatro ácidos orgânicos com o microrganismo *B. megaterium*, formando ácido acético, propiônico, láctico e glucônico, resultando na queda do pH e consequente liberação de P_2O_5 . A utilização dos microrganismos *B. megaterium* e *B. subtilis*, promoveram incremento de qualidade nutricional para aveia e aumento de estatura de planta (Lopes et al., 2021). A bactéria *Bacillus subtilis* quando utilizada em via foliar para a cultura do milho resultou em plantas maiores e maior produtividade (Olanrewaju et al., 2017).

A eficiência da solubilização de P por PSMs depende também da fonte de fosfato utilizada. Rolewicz et al. (2018) demonstrou a habilidade de *B. megaterium* para solubilizar P transformando fosfato de cinzas, em fertilizantes granulados produzidas pela combustão de ossos. Esses fertilizantes tinham um alto teor de P_2O_5 , comparado ao superfosfato simples. Estudando microrganismos no tratamento de sementes da soja Silva et al. (2018) utilizando coinoculação do microrganismo *Bradyrhizobium elkanii* e *Trichoderma harzianum*, observaram maior produtividade de grãos e uma diferença significativa entre os componentes diretos da produtividade da soja quando comparado apenas ao tratamento químico das sementes, explicado pelo maior índice de nodulação e menor incidência de doenças nas plantas, onde os componentes do rendimento número de legumes por planta, grãos por planta e massa de mil grãos revelaram o maior efeito na produtividade de grãos.

A baixa produtividade da soja onde não houve utilização de fósforo e adição de bactérias, pode ser explicada através da deficiência desse nutriente para a planta, podendo acarretar em variações metabólicas que privam a necessidade de P, de maneira que possa ocorrer a remodelação de membranas celulares da planta, havendo substituição de fosfolipídios por sulfolipídeos,

galactolipídeos ou outros glicolipídeos (Siebers et al., 2015). O decréscimo na quantidade de RNA ribossomal advindo da deficiência de P, pode acarretar no aproveitamento de vias metabólicas que evadem o uso de Pi e adenilatos fosfatados (ATP), o armazenamento de açúcares e amido ou de aminoácidos e metabólitos secundários como fenilpropanóides, flavonóides ou glucosinolatos (Scheible and Rojas-Triana, 2018). Quando utilizamos bactérias, a excreção de sideróforos por microrganismos, faz com que o Pi liberado ou mobilizado, seja absorvido decorrente da expressão de transportadores de fosfato de alta afinidade, induzidos por meio de baixas concentrações de P na planta, aumentando assim a eficiência de absorção de P (Plaxton and Tran, 2011).

Em determinadas ocasiões com níveis excessivos de P no solo ou o estresse causado pela limitação de P, os resultados positivos da simbiose micorrízica podem ser neutralizados ou ainda serem eliminados provocando sequelas negativas para a planta hospedeira (Ballhorn et al., 2016). As plantas do experimento a campo, onde cresceram com níveis suficientes de P aumentaram a produção de grãos mostrando efeito sinérgico com bactérias solubilizadoras apontando efeito positivo na massa de grãos e também efeito positivo para o aumento do número de nódulos utilizando a coinoculação.

A interação dos microrganismos com as diferentes doses de P, potencializa o estudo sobre a solubilização e a produtividade de grãos na cultura da soja, onde a deficiência em P é apontado como principal fator nutricional, capaz de limitar a fotossíntese, em virtude de seu envolvimento direto em transferência de energia e no metabolismo de carboidratos nos cloroplastos (Fredeen et al., 1990; Hernández and Munné-Bosch, 2015). O baixo fornecimento do P, ou até mesmo em casos graves a sua deficiência, pode causar redução significativa de eficiência fotoquímica das plantas de soja, fato este associado à escassez do fósforo e a sua menor concentração de clorofila (Hernández and Munné-Bosch, 2015). Quando ocorre limitação nos valores de fósforo na planta, observa-se diminuição na assimilação de CO₂, reduzindo a utilização de energia química promovendo desequilíbrio entre a taxa de transporte de elétrons e decorrente produção da ATP e NADPH e a assimilação de carbono e consumo dos produtos da atividade fotoquímica. Portanto, a geração de ATP é acometida em função da fotofosforilação do ADP ser inibida

durante a deficiência de Pi no estroma, fator que conseqüentemente limita a regeneração de RuBP (Schwab et al., 1989).

Resta evidente compreender os mecanismos de atuação dos microrganismos e os mecanismos de absorção da planta para favorecer e antecipar o uso de bactérias com caracteres úteis para a agricultura.

Tabela 5 – Massa de mil grãos (g) de soja, significativa para bactérias coinoculadas com *Bradyrhizobium* e bactérias biosolubilizadoras de fósforo, realizado em experimento de campo em Barra do Quaraí- RS.

Tratamentos	Variável MMG (g)
T8 - <i>Bacillus megaterium</i> + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i> + <i>Azospirillum</i>	213,12a
T9 – Testemunha	212,81a
T7 - <i>Bacillus megaterium</i> + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Azospirillum</i>	210,62a
T5 - <i>Pseudomonas fluorescens</i> + <i>Azospirillum</i>	209,69a
T6 - <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Azospirillum</i>	209,06a
T2 - <i>Pseudomonas fluorescens</i>	207,5ab
T1 – <i>Azospirillum</i>	206,87ab
T4 - <i>Bacillus megaterium</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	204,75ab
T3 - <i>Bacillus subtilis</i>	197,19b
Média Geral	207,95
CV (%)	3,25

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si a 5% e 1% de probabilidade de erro; MMG: Massa de mil grãos; CV (%) = Coeficiente de variação em porcentagem

Analisando isoladamente o efeito da massa de mil grãos sob o efeito do tratamento da coinoculação, notamos que não houve diferença significativa na interação Doses P X Bactérias. Os tratamentos: T8 - *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum*; T9 - Testemunha; T7 - *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis* + *Azospirillum*; T5 - *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum*; T6 - *Bacillus subtilis* + *Azospirillum*, apresentaram o melhor desempenho sobre a massa de mil grãos. Em segundo lugar e não diferindo estatisticamente dos tratamentos que apresentaram o melhor desempenho, ficaram os tratamentos que continham as bactérias: T2 -

Pseudomonas fluorescens; T1 - *Azospirillum*; T4 - *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*, e o menor desempenho para massa de grãos conforme tabela 5, o tratamento T3, contendo apenas *Bacillus subtilis*.

A produtividade da cultura pode ser estimado através de cálculos por meio de seus componentes, tanto para cultura da soja, quanto para a cultura do algodão (Tedesco-Oliveira et al., 2020) e a cultura do arroz (Reza et al., 2019), onde a massa de mil grãos é essencial para essa análise. O número de grãos (grãos m²) tem maior influência no rendimento do que o massa de mil grãos (Carciochi, et al., 2019). Os componentes do rendimento da soja podem ser afetados por vários fatores, principalmente por genótipo e condições ambientais (Hao et al., 2012), vigor da semente (Caverzan et al., 2018) época de semeadura, ambiente e variedade (MacMillan and Guiden, 2020).

Em pesquisas com a mesma avaliação, a massa de mil grãos não apresentou valor significativo para a produtividade de grãos com sementes de trigo. (Tavanti et al., 2020). Ao testar diferentes cepas de *Bacillus* em diferentes cultivares de soja, não foi observado diferença estatística para variável MMG, sendo que, foram avaliados cultivares de soja em resposta a diferentes formas de inoculação com a espécie *Bradyrhizobium japonicum* (Toni et al., 2018). Aboutalebian e Malmir (2015), ao avaliarem o rendimento da soja e seus componentes, não observaram diferenças significativas quando feita a inoculação com *Bradyrhizobium*. Moterle et al., (2009) encontrou em seu trabalho a massa das sementes como o componente que mais contribuiu para o incremento de produtividade da cultura, assim como Oliveira et al. (2019), ao testarem diferentes métodos de coinoculação com *B. japonicum* nas sementes e *Bacillus amyloliquefaciens* no sulco de semeadura.

Observou-se influência das diferentes doses de fósforo experimentadas no incremento da variável massa de grãos (figura 7), não havendo ajuste de equação. Através de experimento produzido em vaso e com a utilização de solução nutritiva Rosolem and Tavares (2006) observaram diferença significativa para tratamentos com e sem fósforo, em diversas características estudadas, onde a produtividade da cultura da soja, notoriamente foi prejudicada quando houve quadro de déficit de P na fase reprodutiva. Zucareli et al., (2011), avaliando diferentes doses de fósforo na semeadura do feijão carioca precoce, encontrou

resultados positivos e significativos, à medida em que aumentaram doses de fósforo na linha, com valores até 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

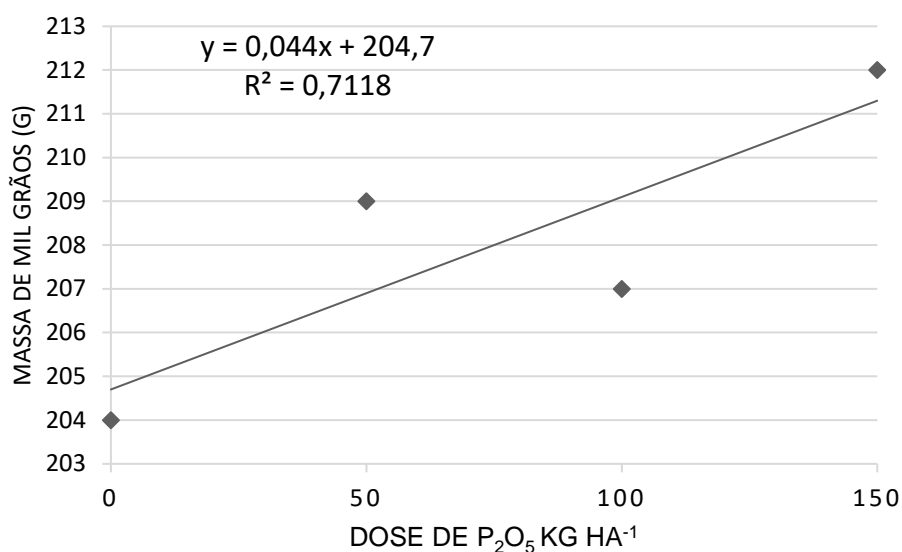


Figura 7 – Análise de regressão para fonte de variação Massa de mil grãos (g) de soja, significativa para doses de P, em experimento de campo realizado em Barra do Quaraí- RS.

O maior número de nódulos NNOD (Figura 4) decorreu da coinoculação dos microrganismos *Bradhirizobium*, *Azospirillum* e *Bacillus subtilis*, 98 nódulos planta⁻¹, obtida com a utilização de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Concomitantemente a MET da massa de nódulos MNOD (figura 5) para o experimento de campo foi a coinoculação das bactérias *Bradhirizobium*, *Azospirillum* e *Bacillus subtilis*, 1.1784 gramas planta⁻¹, com utilização de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A nodulação proporcionou alta produtividade de soja, 5.411 kg ha⁻¹, porém, o maior número de nódulos e massa de nódulos não refletiu na maior produtividade de soja para o experimento de campo. A MET para o caráter produtividade de grãos foi no tratamento das bactérias *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* + *Bradhirizobium* + *Azospirillum*, com dose de 129,5 kg de P ha⁻¹, o que correspondeu a produção estimada de 6012,9 kg ha⁻¹. A MEE para a produtividade da soja foi alcançada pelo tratamento 5, contendo as bactérias *Pseudomonas fluorescens* + *Bradhirizobium* + *Azospirillum*, com dose de 89,5 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Subtraindo apenas o investimento por hectare do fertilizante utilizado, pelo valor da produção da soja, o produtor rentabilizou R\$ 19.291,53.

Esse valor ficou próximo ao encontrado pelo tratamento da máxima eficiência técnica, o qual rentabilizou R\$ 19.283,61 ha, porém com dose de 149,5 kg ha⁻¹ P₂O₅. O cálculo da máxima eficiência econômica demonstra a sensibilidade do custo do fertilizante fosfatado para o setor agrícola, e a importância do auxílio das bactérias biosolubilizadoras em diminuir a dose do fertilizante P e garantir maior rentabilidade para o produtor.

A massa de grãos não apresentou interação para microrganismos e doses de P, porém teve efeito significativo independente para doses de P e bactérias. A dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou a maior massa de grãos para os tratamentos de doses de P, alcançando 212g. A MMG para os tratamentos das bactérias, apresentou melhor desempenho para a coinoculação de *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis* + *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum* com 213,12g, a parcela testemunha com 212,81g, *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis* + *Azospirillum* 210,62g, *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum* 209,69g e *Bacillus subtilis* + *Azospirillum* 209,06g.

4.2 RESULTADO ANÁLISE FOLIAR DE SOJA PARA AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE P NO TECIDO DA PLANTA

Os resultados da análise de variância para os teores do macro nutriente P nos tecidos, estão apresentados na Tabela 6, na qual se observa a ocorrência de efeito significativo para bactérias, evidenciando aumento da concentração do nutriente P via foliar na soja, e sem apresentar efeito significativo para os teores de fósforo no tecido vegetal pelas doses de fósforo aplicadas no sulco de semeadura, porém, o macronutriente P nas folhas da soja apenas foram afetados pela coinoculação das bactéria *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum spp.*, as quais apresentaram acúmulo de P no tecido vegetal de 232% quando comparado a parcela de controle sem inoculação.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância, com os quadrados médios da variável análise foliar de fósforo para soja (PFAS), no experimento de campo conduzido em Barra do Quaraí e laboratório de solos UFSM, RS 2022.

FV	GL	SQ	QM	Fc	PAFS
DOSES P	3	0,09	0,03	0,14	0,93 ^{ns}
BACTÉRIAS	8	38,14	4,77	23,09	0,00 [*]
DOSES X BACTÉRIAS	24	4,34	0,18	0,87	0,63 ^{ns}
BLOCO	2	0,23	0,12	0,56	0,57
RESÍDUO	70	14,46	0,21		
MÉDIA	1,98				
CV (%)	22,86				

* significativo a 5% ($p \leq 0,05$); ns = não significativo; FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= Quadrado médio; Fc= F calculado; CV% = Coeficiente de variação em %; A variável explicativa: PAFS= Fósforo análise foliar de soja.

Os valores de P considerados suficientes no tecido vegetal da soja segundo Embrapa (2010), estão entre 2,3 e 2,8 g kg⁻¹. Em estudo realizado por Kurihara (2013), a suficiência do teor de P no tecido foliar considerado suficiente ficou entre 2,8 e 3,3. Valor inferior a 2,8 é considerado baixo, 3,4 à 3,9 alto, e maiores que 3,9 considerados como excesso. Na avaliação de P foliar da soja, a coinoculação das bactérias *Pseudomonas fluorescens* + *Azospirillum spp.*, foi o tratamento que apresentou o maior nível de P nos tecidos, com 3,49 mg/L, considerado alto para a cultura da soja (tabela 7). As demais bactérias não diferiram estatisticamente, e são classificadas como baixo (Kurihara, 2013), estimado a partir do modelo de regressão para teores de macronutrientes em folhas de soja em função do índice DRIS, obtido por Alvarez and Leite (1999).

Tabela 7 - Teores do nutriente fósforo estabelecido¹ para a cultura da soja pelo método índice DRIS, para interpretação dos resultados da análise foliar.

Tratamentos	P estabelecido (mg L ⁻¹)
T5 - <i>Pseudomonas fluorescens</i> + <i>Azospirillum</i>	3,49a
T8 - <i>Bacillus megaterium</i> + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i> + <i>Azospirillum</i>	2,14b
T2 - <i>Pseudomonas fluorescens</i>	2,133b
T6 - <i>Bacillus megaterium</i> + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Azospirillum</i>	1,89b
T3 - <i>Bacillus subtilis</i>	1,84b
T1 - <i>Azospirillum</i>	1,644b
T6 - <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Azospirillum</i>	1,63b
T4 - <i>Bacillus megaterium</i> + <i>Bacillus subtilis</i>	1,57b
T9 – Testemunha	1,50b
Média Geral	1,9878
CV (%)	22,86

¹ Valores obtidos da análise foliar de soja para o macronutriente P, estimado para o terceiro trifólio totalmente formado, a partir do ápice no ramo vegetativo da planta. * médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott ($\alpha \leq 0,05$).

Algumas espécies como a *Urochloa*, elevam a concentração de P lábil, prontamente disponíveis para absorção dos cultivos, nas camadas mais superficiais do solo em cultivos sucessivos. Isso se dá em função de absorverem o P não lábil nas camadas mais profundas do solo, e então devolvem à superfície do solo através da mineralização de resíduos (Almeida and Rosolem, 2016). A utilização de bactérias com manejo de plantas de coberturas na entre safra, pode ser um ótimo manejo para aumento da concentração de P disponível para as culturas anuais, onde a maior concentração de P na análise foliar obtida através da bactéria *Pseudomonas fluorescens*, evidencia a maior capacidade de alocação dos níveis de P no tecido das plantas através dos mecanismos de biosolubilização de fosfato e/ou zinco, mobilização de potássio e acumulação de ferro através da produção de sideróforos (shastri and Kumar, 2019)

Espera-se que o aumento da concentração de P no tecido foliar da soja, bem como de outras culturas influenciado por bactérias biosolubilizadoras, possa aumentar a concentração do P lábil no solo, através dos restos culturais com

maior concentração de P no tecido, tornando prontamente disponível o P orgânico da decomposição da palhada para o próximo cultivo.

4.3 RESULTADOS EXPERIMENTO DA BIOSOLUBILIZAÇÃO EM LABORATÓRIO

Os microrganismos solubilizadores de fosfato tornam o fosforo inorgânico em fosforo orgânico, principalmente através da formação de ácidos orgânicos (Rana et al., 2020). Outros mecanismos da promoção de crescimento vegetal por microrganismos são citados, como produção de sideróforos, ácido indolacético, solubilização de fosfato, ácido orgânico, produção de amônia são citados (Barucha et al., 2013). E as bactérias endofíticas *Pigmentiphaga litoralis*, *Caballeronia sordidicola* e *Pseudomonas*, apresentaram mecanismos de atividade catalase, produção de amônia e de sideróforos (Puri et al., 2020). A utilização de microrganismos com esses mecanismos é fator importante para a agricultura, uma vez que grande parte dos fertilizantes utilizados ficam acumulados na forma inorgânica no solo (Ahmad et al., 2018).

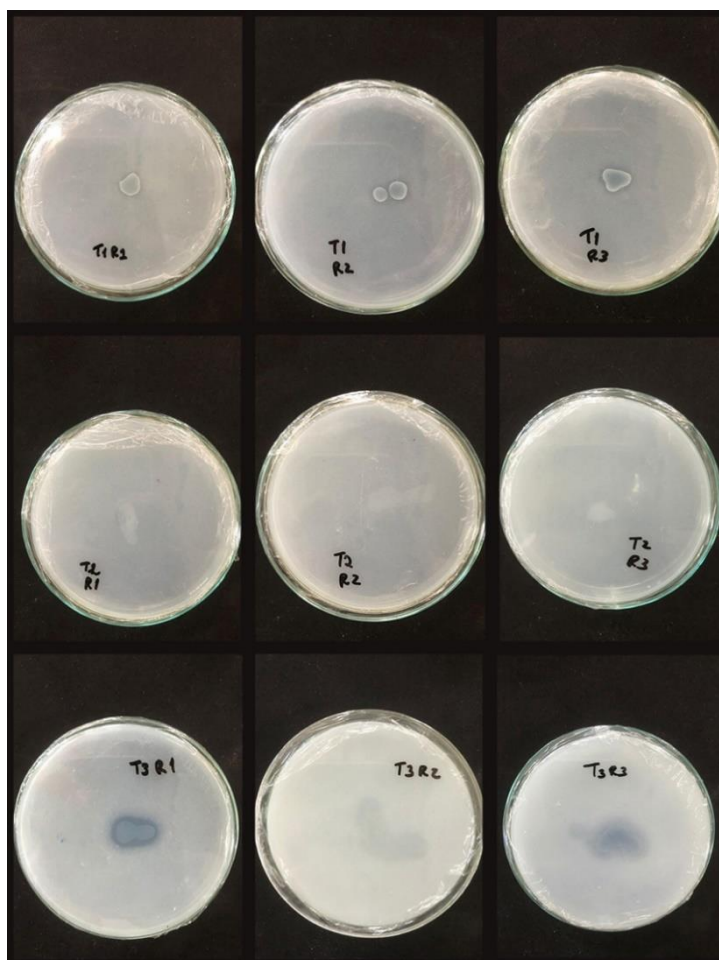


Figura 8 – Imagem das bactérias biosolubilizadoras de fósforo em meio de cultivo formando halo de solubilização em experimento de laboratório da UFSM em Santa Maria- RS.

O índice de solubilização dos isolados variou em relação ao tempo e ao isolado em foco, apresentando valores entre 0 e 2,06. Os tratamentos com microrganismos *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* (T2) e *Pseudomonas fluorescens* (T3), foram considerados baixos solubilizadores, demonstrando índices entre zero e 1,36. Os isolados de *Bacillus subtilis* estirpe CCTB04 = CNPS02720 (T1), foram concebidos como solubilizadores médios, com índices de 2,06 na avaliação com de 17 dias após incubação (tabela 8). De fato os microrganismos testados em laboratório, apesar de baixa e média solubilização, demonstram a capacidade desses microrganismos em interagirem com o meio de cultura. Na rizosfera, a associações entre plantas e bactérias podem envolver interações específicas (Zhang et al., 2018), vindo a produzir diferentes composições de exsudatos das raízes das plantas, influenciando ainda mais essa interação (Vives-Peris et al., 2018). A liberação dos exsudatos na rizosfera

é fortemente influenciado por inúmeros fatores bióticos e abióticos, o que pode acarretar mudanças significativas na microbiota (Kawasaki et al., 2016). Os compostos liberados pelas plantas através de suas raízes fornecem para os microrganismos no solo fito hormônios, aminoácidos, carbono, nitrogênio e açúcares, e esses podem ser benéficos ou deletérios aos microrganismos presentes no solo (Moe, 2013; Kawasaki et al., 2016).

Tabela 8 – Índice de solubilização de fosfato (IS= Diâmetro do halo (mm) / Diâmetro da colônia (mm)) por isolados de *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* e *Pseudomonas fluorescens*, em duas datas de avaliação.

Bactérias	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus megaterium</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
Ø halo (mm) 3 Dias	11,77	0	23,89
Ø colônia (mm) 3 Dias	10,38	15,77	19,90
Índice de solubilização P em 3 dias	1,13	0	1,23
Ø halo (mm) 17 Dias	23,84	18,78	30,03
Ø colônia (mm) 17 Dias	11,66	14,99	23,11
Índice de solubilização P em 17 dias	2,06	1,06	1,36

Legenda: Ø = Diâmetro.

As bactérias de *Bacillus subtilis*, apresentaram nesse trabalho, média capacidade em solubilizar o P em meio líquido, enquanto que as bactérias *Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium* e *Pseudomonas fluorescens*, apresentaram baixo potencial de solubilização em meio líquido, assim como encontrado por Giassi et al., (2016), apontando a baixa solubilidade do microrganismo *Bacillus*. Possibilidades de solubilização de fosfato por microrganismos vem sendo observadas por autores, sendo utilizada como uma das principais características para seleção de novas cepas para agricultura (Azziz et al., 2012; De Bolle et al., 2013; Muleta et al., 2013).

Um dos principais mecanismos utilizados por fungos para solubilizar fosfato de cálcio é a acidificação do meio de cultivo, ao passo que a liberação de ácidos orgânicos é mais importante para a solubilização de fosfatos de rocha (Mendes et al., 2013). Resultado semelhante foi constatado nos isolados de

Penicillium rugulosum, para os quais a solubilização de fosfatos naturais se deve, principalmente, à ação de ácidos orgânicos (Reyes et al., 1999). No caso dos isolados de T1, T2, T3, outros mecanismos podem estar envolvidos para maior disponibilidade de P, como a liberação de ácidos orgânicos, para explicar a maior produtividade de grãos e teor de P na folha, como visto nos experimentos anteriores.

A promoção da acidez do meio não é o único fator que pode atuar na solubilização de fosfatos (Silva Filho et al., 2002). Alguns nutrientes realizam ligações quelantes capazes de reagir com os produtos da solubilização, impedindo retorno do fósforo a formas insolúveis, e dessa forma aumentar a capacidade de solubilização (Kpombrekou-A and Tabatai, 1994). Quando a assimilação de P na planta é superior à solubilização, os produtos da reação estão constantemente em baixas concentrações, fazendo com que mais fósforo se torne na solução do solo.

Bactérias do gênero *Pseudomonas* que produzem quantidades maiores de quitinases e celulases em meios de cultura, impedem o crescimento de *Pythium aphanidermatum* e *Rhizoctonia solani* (Sindhu and Dadarwal, 2001). É possível admitir-se que as diferentes espécies de bactérias, além do mecanismo direto de solubilização, exibam vários mecanismos de inibição do crescimento fúngico, ou promoção de crescimento em plantas envolvendo substâncias diferentes que possam estar ligada a demanda nutricional da planta.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo evidencia a especificidade dos gêneros de bactérias em promover associações com a planta e produzir diferentes respostas de interesse agrônomo.

O ponto de máxima eficiência técnica e econômica para produtividade de grãos foi evidenciado nas doses de 129,5 contendo a coinoculação das bactérias *Bradhiryzobium*, *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*, e 98,5 kg de P_2O_5 ha⁻¹ utilizando as bactérias *Pseudomonas fluorescens*, *Bradhiryzobium* e *Azospirillum*, correspondendo a uma produtividade de 6013 e 5912 kg ha⁻¹ respectivamente.

As bactérias quando testadas em laboratório, apresentaram formação de halo de solubilização em meio líquido, onde a bactéria *Bacillus subtilis* foi classificada como média biosolubilizadora de fósforo, e as bactérias *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* e *Pseudomonas fluorescens*, classificadas com baixo potencial de biosolubilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboutalebian, M.A. and Malmir, M. Soybean yield and yield components affected by the mycorrhiza and *Bradyrhizobium* at different rates of starter nitrogen fertilizer. *Semina Ciências Agrárias*, v.38, n.4, 2015. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4Supl1p2409>
- Ahemad, M. Phosphate-solubilizing bacteria-assisted phytoremediation of metalliferous soils: a review. **3 Biotech**, n.5, p.111–121, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13205-014-0206-0>
- Ahmad, M. et al. Preliminary study on phosphate solubilizing *Bacillus subtilis* strain Q3 and *Paenibacillus* sp. strain Q6 for improving cotton growth under alkaline conditions. **PeerJ** 6: e5122, v.6, 2018. <https://doi.org/10.7717/peerj.5122>
- Almeida, D. S. and Rosolem, C. A. Ruzigrass Grown in Rotation with Soybean Increases Soil Labile Phosphorus. **Agronomy Journal**. v. 108, n. 6, p. 2444-2452, 2016. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2015.0478>
- Alori, E.T. et al. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. **Frontiers in Microbiology**, n.8, p.971-979, 2017. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>
- Alvarez, V.V.H. and Leite R. de A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculo dos índices DRIS. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.20-25, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000400011>
- Anandham, R. et al. Evaluation of shelf life and rock phosphate solubilization of *Burkholderia* sp. in nutrient-amended clay, rice bran and rock phosphate-based granular formulation. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.23, p.1121-1129, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11274-006-9342-y>
- Anantharaman, K. et al. Thousands of microbial genomes shed light on interconnected biogeochemical processes in an aquifer system. **Nature Communication**, v.7, n.13219, 2016. <https://doi.org/10.1038/ncomms13219>
- Andrade, F.V. et al. Organic Acids and Diffusive Flux of Organic and Inorganic Phosphorus in Sandy-Loam and Clayey Latosols. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.44, p.1211–1223, 2013. <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.756001>
- Anzuay, M.S. et al. Beneficial effects of native phosphate solubilizing bacteria on peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth and phosphorus acquisition. **Symbiosis**, v.66, p.89–97, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13199-015-0337-z>

- Arora, N.K. et al. Multifaceted Plant-Associated Microbes and Their Mechanisms Diminish the Concept of Direct and Indirect PGPRs. **Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances**, p.411-449, 2013. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1287-4_16
- Azziz, G. et al. Abundance, diversity and prospecting of culturable phosphate solubilizing bacteria on soils under crop-pasture rotations in a no-tillage regime in Uruguay. **Applied Soil and Ecology**, v.61, p.320-326, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.10.004>
- Bai, J. et al. Organic phosphorus mineralization characteristics in sediments from the coastal salt marshes of a Chinese delta under simulated tidal cycles. **Journal of Soils and Sediments**, v.20, p.513–523, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02404-5>
- Ballhorn, D.J. et al. Friend or Foe-Light Availability Determines the Relationship between Mycorrhizal Fungi, Rhizobia and Lima Bean (*Phaseolus lunatus* L.). **Plos One**, v.11, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154116>
- Barucha, U.D. et al. In vitro screening of isolates for its plant growth promoting activities from the rhizosphere of Alfafa (*Medicago sativa*). **Journal of Microbiology and Biotechnology Research**, v.3, n.5, p.79-88, 2013. ISSN: 2231-3168. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259347143_In_vitro_screening_of_isolates_for_its_plant_growth_promoting_activities_from_the_rhizosphere_of_Alfalfa_Medicago_Sativa. Acesso em 20 dez. 2021.
- Batista, B.D. et al. Screening of tropically derived, multi-trait plant growth-promoting rhizobacteria and evaluation of corn and soybean colonization ability. **Microbiological Research**, v.206, p.33-42, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.09.007>
- Behbahani, B.A. et al. Principle component analysis (PCA) for investigation of relationship between population dynamics of microbial pathogenesis, chemical and sensory characteristics in beef slices containing Tarragon essential oil. **Microbial Pathogenesis**, v.105, p.37-50, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.02.013>
- Behera, B.C. et al. Diversity, mechanism and biotechnology of phosphate solubilising Microorganism in mangrove - A review. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.3, p.97-110, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2013.09.008>
- Berhe, A.A. et al. Role of Soil Erosion in Biogeochemical Cycling of Essential Elements: Carbon, Nitrogen, and Phosphorus. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v.46, p.521–548, 2018. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082517-010018>

- Bettiol, W. et al. Produtos comerciais à base de agentes de biocontrole de doenças de plantas. **EMBRAPA - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v.1, p.155, 2012.
- Bi, Q-F. et al. The microbial cycling of phosphorus on long-term fertilized soil: Insights from phosphate oxygen isotope ratios. **Chemical. Geology**. v.483, p.56-64, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.02.013>
- Billah, M. et al. Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria: Keys for sustainable agriculture. **Geomicrobiology Journal**, v.36, p.904-916, 2019. <http://doi.org/10.1080/01490451.2019.1654043>
- Bloom, C.W.P.M. and Voeselek, L.A.C.J. Flooding: the survival strategies of plants. **Trends in Ecology and Evolution**, v.11, p.290-295, 1996. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(96\)10034-3](https://doi.org/10.1016/0169-5347(96)10034-3)
- Borkert, C. M. et al. Seja o doutor da sua soja. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 66, jun. 1994. **Arquivo do Agrônomo**, Piracicaba, n. 5, p. 1-16, 1994. Disponível em [https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3140/\\$File/Seja%20Soja.pdf](https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3140/$File/Seja%20Soja.pdf). Acesso em: 12 de dez. de 2021.
- Bouhmouch, I. et al. Influence of host cultivars and Rhizobium species on the growth and symbiotic performance of *Phaseolus vulgaris* under salt stress. **Journal of Plant Physiology**, v.162, p.1103-1113, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.12.003>
- Buch, A. et al. Metabolic channelling of glucose towards gluconate in phosphate-solubilizing *Pseudomonas aeruginosa* P4 under phosphorus deficiency. **Research in Microbiology**. v.159, p.635-642, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2008.09.012>
- Calle-Castañeda, S.M. et al. Phosphorus recovery from high concentrations of low-grade phosphate rocks using the biogenic acid produced by the acidophilic bacteria *Acidithiobacillus thiooxidans*. **Minerals Engineering**, v.115, p.97-105, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.10.014>
- Campos, M. et al. Phosphorus sorption index in humid tropical soils. **Soil And Tillage Research**, v.156, p.110-118, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.020>
- Carciochi, W.D. et al. Soybean seed yield response to plant density by yield environment in North America. **Agronomy Journal**, v.111, n.4, p.1923-1932, 2019. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.10.0635>
- Carter, A.M. and Tegeder, M. Increasing Nitrogen Fixation and Seed Development in Soybean Requires Complex Adjustments of Nodule Nitrogen Metabolism and Partitioning Processes. **Current Biology**, v.26, p.2044-2051, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.06.003>

- Caverzan, A. et al. How does seed vigor affect soybean yield components? **Agronomy Journal**, v.110, n.4, p.1318-1327, 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.11.0670>
- Cerri, M.O. et al. Average shear rate for non-Newtonian fluids in a concentric-tube airlift bioreactor. **Biochemical Engineering Journal**, v.39, p.51-57, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.08.009>
- Chaiharn, M. et al. Characterization of Phosphate Solubilizing *Streptomyces* as a Biofertilizer. **Chiang Mai Journal of Science**, v.45, p.701-716, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324795422_Characterization_of_phosphate_solubilizing_Streptomyces_as_a_biofertilizer. Acesso: 10 mai. 2021.
- Chen, K. et al. *Bacillus* species as potential biocontrol agents against citrus diseases. **Biological Control**, v.151, p.1-9, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104419>
- Colmer, T.D. and Voesenek, L.A.C.J. Flooding tolerance: suits of plant traits in variable environments. **Functional Plant Biology**, v.36, p.665-681, 2009. <https://doi.org/10.1071/FP09144>
- Comissão De Química E Fertilidade Do Solo - CQFS. **Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11ª ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Porto Alegre, Brasil, 2016.
- Conab (2021a) Exportação da soja brasileira. https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-soja/item/download/36342_9817d252ffd87860f9bfeada828533de. Acesso em 27/06/2021.
- Conab (2021b) Área de produção da soja no Brasil e Rio Grande do Sul. https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/37413_b9a8ca804ae2699733563f11b12ae2ab. Acesso em 27/06/2021.
- CNA - Confederação Nacional de Agricultura. 2020. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro#:~:text=Como%20revela%20a%20figura%201,%2C7%20bilh%C3%B5es%2C%20em%202020>. Acesso em: 03/07/2021.
- Cong, W. F. et al. Tightening the Phosphorus Cycle through Phosphorus-Efficient Crop Genotypes. **Trends in Plant Science**, v.25, p.967-975, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.04.013>
- Costa, E.M. et al. Resposta da soja a inoculação e co-inoculação com bactérias promotoras do crescimento vegetal e *Bradyrhizobium*. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, v.10, n.19; p.1678, 2014. Disponível em:

<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/resposta%20da%20soja%20a%20inoculacao.pdf>. Acesso em: 14 de mar. 2021.

Dash, N. et al. Functionalities of Phosphate Solubilizing Bacteria of Rice Rhizosphere: Techniques and Perspectives. **Recent advances in Applied Microbiology**, p.151-163, 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5275-0_7

DeJong, J.T. et al. Bio-mediated soil improvement. **Ecological Engineering**, v.36, p.197-210, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.029>

De Bolle, S. et al., Performance of phosphate-solubilizing bacteria in soil under high phosphorus conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v.49, p.705-714, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0759-1>

De Souza, R. et al. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and Molecular Biology**, v.38, n.4, p.401-419, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>

Dnpm - Departamento Nacional de Produção Mineral 2016. Sumário mineral. Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves. Brasília, DF: DNPM. ISSN 01012053, 131p. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/sumariomineral-brasileiro-2016>. Acesso em: 10 abr. 2020.

Dodd, R.J. and Sharpley, A.N. Recognizing the role of soil organic phosphorus in soil fertility and water quality. **Resources, Conservation and Recycling**, v.105, p.282–293, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.001>

D'souza, J. and Rodrigues, B.F. Seasonal diversity of Arbuscular Mycorrhizal fungi in Mangroves of Goa, Índia. **International Journal of Biodiversity**, p.1-7, 2013. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/196527>

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Org. Fabio Cesar da Silva. Brasília. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia. 1997. 370p.

Embrapa Soja, Embrapa Cerrados & Embrapa Agropecuária Oeste (2010) **Tecnologias de produção de soja** – região Central do Brasil 2011. Londrina. 255p. (Sistemas de produção, 14). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95489/1/SP-16-online.pdf>. Acesso em 04 dez. 2021

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed, Embrapa. 2013. 353p

- Eriksson, A.K. et al. Phosphorus speciation of clay fractions from long-term fertility experiments in Sweden. **Geoderma**, v.241-242, p.68–74, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.10.023>
- Estrada-Bonilla, G.A. et al. Use of compost and phosphate-solubilizing bacteria affect sugarcane mineral nutrition, phosphorus availability, and the soil bacterial community. **Applied Soil Ecology**, v.157, p.1-9, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103760>
- Etesami, H. and 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.013>
- Fabianska, M.J.; et al., Occurrence of organic phosphates in particulate matter of the vehicle exhausts and outdoor environment—A case study. **Environmental Pollution**, v.244, p.351-360, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.060>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. Base referencial mundial del recurso suelo 2014: Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 106. **Food and Agriculture** Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- Farhat, M.B. et al. Mineral phosphate solubilization by *Streptomyces sp.* CTM396 involves the excretion of gluconic acid and is stimulated by humic acids. **FEMS Microbiology Letters**, v.362, 2015. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnv008>
- Fehr, W.R. and Caviness, C.E. Stages of soybean development. Ames: **Iowa State University of Science and Technology**, p.11, 1977. (Special Report 80). Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/STAGES.+FEHR_000g50w2l4s02wx5ok0dkla0sik2sqav.pdf. Acesso em: 14 jun. 2020.
- Ferreira, E. P. De B. et al. Population and microbial activity of the soil under an agro-ecological production system. **Revista Ciencia Agronomica**, v.48, n.1, p.22–31, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170003>
- Ferri, G.C. et al. Effects of associated co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* with *Azospirillum brasilense* on soybean yield and growth. **African Journal of Agricultural Research**, v.12, p.6-11, 2017. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11711>
- Fipke, G.M. et al. Co-inoculation with diazotrophic bacteria in soybeans associated to urea topdressing. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras**, v.40, n.5, p.522-533, 2016. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016405001316>

- Fixen, P.E. and Johnston, A. M. World fertilizer nutrient reserves: A view to the future. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.92, p.1001-1005. 2012. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4532>
- Fontaine, et al. Phosphate-solubilizing bacteria isolated from ectomycorrhizal mycelium of *Picea glauca* highly efficient at fluorapatite weathering. **Botany**, v.94, p.1183-1193, 2016. <http://doi.org/10.1139/cjb-2016-0089>
- Fredeen, A.L., et al. Effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in *Glycine max.* (L.) Merr. **Planta**, v.181, p.399-405, 1990. <https://doi.org/10.1007/BF00195894>
- Fukao, T. and Bailey-Serres, J. Plant responses to hypoxia: Is survival a balancing act? **Trends in Plant Science**, v.9, p.449-456, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.07.005>
- George, T.S. et al. Phosphorus in soils and plants - facing phosphorus scarcity. **Plant and Soil**, v.401, p.1-6, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2846-9>
- Giassi, V. et al. Bacteria as growth-promoting agents for citrus rootstocks. **Microbiological Research**, v.190, p.46-54, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.006>
- Gibberd, M.R. et al. Water logging tolerance among a diverse range of *Trifolium* accessions is related to root porosity lateral root formation and aerotropic rooting. **Annals of Botany**, v.88, n.4, p.579-589, 2001. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1506>
- Gibbs, J. and Greenway, H. Review: Mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism. **Functional Plant Biology**, v.30, p.1-47, 2003. <https://doi.org/10.1071/PP98095>
- Gonzalez, E.M. et al. Insights into the regulation of nitrogen fixation in pea nodules: lessons from drought, abscisic acid and increased photoassimilate availability. **Agronomie**, v.21, n.6-7, p.607-613, 2001. <https://doi.org/10.1051/agro:2001151>
- Gross, A. et al. The role of soil redox conditions in microbial phosphorus cycling in humid tropical forests. **Ecology**, v.101, 2020. <https://doi.org/10.1002/ecy.2928>
- Gyaneshwar, P. et al. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant and Soil**, v.245, p.83-93, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1020663916259>
- Hamdali, H. et al. Screening for rock phosphate solubilizing *Actinomycetes* from Moroccan phosphate mines. **Applied Soil Ecology**, v.38, p.12-19, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.08.007>

- Hameeda, B. et al. Growth promotion of maize by phosphate-solubilizing bacteria isolated from composts and macrofauna. **Microbiological Research**, v.163, n.2, p.234-242, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2006.05.009>
- Hao, D. et al. Identification of single nucleotide polymorphisms and haplotypes associated with yield and yield components in soybean (*Glycine max*) landraces across multiple environments. **Theoretical and Applied Genetics**, v.124, p.447-458, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00122-011-1719-0>
- Hao, X.L. et al. The Composition and Phosphorus Cycling Potential of Bacterial Communities Associated With Hyphae of *Penicillium* in Soil Are Strongly Affected by Soil Origin. **Frontiers in Microbiology**, v.10, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02951>
- Hara, F.A. dos S. and Oliveira, L.A. de. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos e álicos de Presidente Figueiredo, Amazonas. **Acta Amazonica**, v.34, n.3, p.343-357, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672004000300002>
- He, Z. and Zhu, J. Microbial utilization and transformation of phosphate adsorbed by variable charge minerals. **Soil Biology and Biochemistry**, v.30, p.917-923, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00188-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00188-0)
- Hernández, I. and Munné-Bosch, S. Linking phosphorus availability with photooxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v.66, n.10, p.2889-2900, 2015. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv056>
- Hernández, J. and Meurer, E.J. Adsorção de fósforo e sua relação com formas de ferro em dez solos do Uruguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.223-230, 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000200007>
- Hoberg, E. et al. Organic acid exudation and pH changes by *Gordonia sp.* and *Pseudomonas fluorescens* grown with P adsorbed to goethite. **Microbiological Research**, v.160, p.177-187, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2005.01.003>
- Huang, D. et al. Remediation of lead-contaminated sediment by biochar-supported nano-chlorapatite: Accompanied with the change of available phosphorus and organic matters. **Journal of Hazardous Materials**, v.348, p.109-116, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.024>
- Hungria, M. et al. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 79p. ISSN1516-781X. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/564908/a-importancia-do-processo-de-fixacao-biologica-do-nitrogenio-para-a-cultura-da-soja-componente-essencial-para-a-competitividade-do-produto-brasileiro>. Acesso em: 12 nov. 2020.

- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em 12 de nov. 2020.
- Irfan, M. et al. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging. **Protoplasma**, v.241, p.3-17, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00709-009-0098-8>
- Irga 2020 Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202009/16175819-soja-em-rotacao-com-arroz.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2021.
- Jaybhay, S.A. et al. Microbial inoculation of Rhizobium and phosphate-solubilizing bacteria along with inorganic fertilizers for sustainable yield of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Journal of Plant Nutrition**, v.40, n.15, p.2209-2216, 2017. <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1346678>
- Jez, J.M. et al. The next green movement: Plant biology for the environment and sustainability. **Science**, v.353, p.1241-1244, 2016. <https://doi.org/10.1126/science.aag1698>
- Jiang, F. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance mineralisation of organic phosphorus by carrying bacteria along their extraradical hyphae. **New Phytologist Foundation**, v.230, p.304-315, 2020. <https://doi.org/10.1111/nph.17081>
- Jiang, K. et al. Element mobilization and redistribution under extreme tropical weathering of basalts from the Hainan Island, South China. **Journal of Asian Earth Sciences**, v.158, p.80–102, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.02.008>
- Jiang, Y.F. et al. New Insight into carboxylic acid metabolisms and pH regulations during insoluble phosphate solubilisation process by penicillium oxalicum PSF-4. **Current Microbiology**, v.77, p.4095-4103, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02238-2>
- Jog, R. et al. Mechanism of phosphate solubilization and antifungal activity of *Streptomyces spp.* isolated from wheat roots and rhizosphere and their application in improving plant growth. **Microbiology**, v.160, p.778-788, 2014. <https://doi.org/10.1099/mic.0.074146-0>
- Kanimozhi, K. and Panneerselvam, A. Investigation of soil characters and *Azospirillum* isolated from paddy soils of Thanjavur district, East coast of Tamilnadu, India. **Archives of Applied Science Research**, v.3, p.525-536, 2011. ISSN 0975-508X
- Karandashov, V. and Bucher, M. Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas. **Trends in Plant Science**, v.10, p.22-29, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2004.12.003>

- Katznelson, H., and Mason, A. Serological relationships among the species of arthrobacter, **Canadian Journal of Microbiology**, v.8, p.588-591, 1962. <https://doi.org/10.1139/m62-077>
- Kawasaki, A. et al. Microbiome and exudates of the root and rhizosphere of *brachypodium distachyon*, a model for wheat. **Plos One**, v.11, n.10, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164533>
- Khan, M.S. et al. Role of plant growth promoting rhizobacteria in the remediation of Metal Contaminated Soils: A Review. **Organic Farming, Pest Control and Remediation of Soil Pollutants**, p.319–350, 2009. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9654-9_15
- Kour, D. et al. Biodiversity, current developments and potential biotechnological applications of phosphorus-solubilizing and -mobilizing microbes: A review. **Pedosphere**, v.31, p.43–75, 2021. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60057-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60057-1)
- Kpombrekou-A., K. and Tabatabai, M.A. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks. **Soil Science**, v.158, p.442- 453, 1994. <https://doi.org/10.1097/00010694-199415860-00006>
- Krolow, R.H. et al. Efeito do fósforo e do potássio sobre o desenvolvimento e a nodulação de três leguminosas anuais de estação fria. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.2224-2230, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000900007>
- Kurihara, C.V. et al. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS1. **Revista Ceres**, v.60, n.3, p.412-419, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000300015>
- Kumar, A. et al. Phosphate-Solubilizing Fungi: Current perspective, mechanisms and potential agricultural applications. **Agriculturally Important Fungi for Sustainable Agriculture**, p.121-141, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45971-0_6
- Laakso, T.A. et al. Ediacaran reorganization of the marine phosphorus cycle. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.117, p.11961-11967, 2020. <https://doi.org/10.1073/pnas.1916738117>
- Lareen, A. et al. Plant root-microbe communication in shaping root microbiomes. **Plant Molecular Biology**, v.90, n.6, p.575-587, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11103-015-0417-8>
- Lei, Y. et al. Is there a precipitation sequence in municipal wastewater induced by Electrolysis? **Environmental Science e Technology**, v.52, p.8399–8407, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02869>

- Liang, J.L. et al. Novel phosphate-solubilizing bacteria enhance soil phosphorus cycling following ecological restoration of land degraded by mining. **The ISME Journal**, v.14, p.1600-1613, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0632-4>
- Lira, J.M.S. et al. Análise de crescimento e trocas gasosas de plantas de *Lonchocarpus sericeus* (Poir.) D. C. sob alagamento para uso na recuperação de matas ciliares. **Ciência Florestal**, v.23, n.4, p.655-665, 2013. <https://doi.org/10.5902/1980509812349>
- Lopes, M. J. et al. Biotecnologia microbiana: inoculação, mecanismos de ação e benefícios às plantas. **Research, Society and Development**, v.10, n.12, p.1-13, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20585>
- Lopez-Arredondo, D.L. et al. Phosphate Nutrition: Improving Low-Phosphate tolerance in crops. **Annual Review of Plant Biology**, v.65, p.95-123, 2014. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-035949>
- Loth-Pereda, V. et al. Structure and expression profile of the phosphate Pht1 transporter gene family in mycorrhizal *Populus trichocarpa*. **Plant Physiology**, v.156, p.2141-2154, 2011. <https://doi.org/10.1104/pp.111.180646>
- Luyckx, L. et al. Closing the phosphorus cycle: Multi-criteria techno-economic optimization of phosphorus extraction from waste water treatment sludge ash. **Science of the Total Environment**, v.713, p.135543, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135543>
- Mackay, J.E. et al. A key role for arbuscular mycorrhiza in plant acquisition of P from sewage sludge recycled to soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.115, p.11–20, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.08.004>
- MacMillan, K.P. and Guiden, R.H. Effect of seeding date, environment and cultivar on soybean seed yield, yield components, and seed quality in the Northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v.112, n.3, p.1666-1678, 2020. <https://doi.org/10.1002/agj2.20185>
- Malavolta E. et al., Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: Malavolta E, Vitti GC & Oliveira SA de (Eds.) Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações. **Potafos**. v.2, p.115-230, 1997.
- Maltais-Landry, G. et al. Soil phosphorus mobilization in the rhizosphere of cover crops has little effect on phosphorus cycling in California agricultural soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.78, p.255-262, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.08.013>
- Manzoor, M. et al. Isolation of phosphate solubilizing bacteria from maize rhizosphere and their potential for rock phosphate solubilization-mineralization and plant growth promotion. **Geomicrobiology Journal**, v.34, p.81-95, 2017. <https://doi.org/10.1080/01490451.2016.1146373>

- Marchesan, E. desenvolvimento de tecnologias para cultivo de soja em terras baixas. **Recodaf: Revista Eletrônica Competências Digitais Para Agricultura Familiar**, v.2, p.4-19, 2016. Disponível em: <https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/22>. Acesso em: 10 mai. 2021.
- Mardad, I. et al. Solubilization of inorganic phosphate and production of organic acids by bacteria isolated from a maroccan mineral phosphate deposit. **African Journal of Microbiology Research**, v.7, n 8, p.626-635, 2013. <https://doi.org/10.5897/AJMR12.1431>
- Marinković, J. et al. Effects of soybean co-inoculation with plant growth promoting rhizobacteria in field trial. **Romanian Biotechnological Letters**, v.23, n.2, 2018. Disponível em: <https://e-repository.org/rbl/vol.23/iss.2/4.pdf>. Acesso em 10 de mai. 2021.
- Marra, L.M. et al. Solubilization of inorganic phosphates by inoculant strains from tropical legumes. **Scientia Agricola**, v.68, p.603-609, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000500015>
- Meena, V. S. et al. Can Bacillus Species Enhance Nutrient Availability in Agricultural Soils? **Bacilli and Agrobiotechnology**, p.367-395, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3_16
- Mendes, G.O. et al. Fermentation liquid containing microbially solubilized P significantly improved plant growth and P uptake in both soil and soilless experiments. **Applied Soil Ecology**, v.117-118, p.208–211, 2017a. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.05.008>
- Mendes, G.O. et al. Inhibition of Aspergillus niger Phosphate Solubilization by Fluoride Released from Rock Phosphate. **Applied and Environmental Microbiology**, v.79, n.16, p.4906–4913, 2013. <https://doi.org/10.1128/AEM.01487-13>
- Mendes, I. et al. Qualidade biológica do solo: por que e como avaliar. Rondonópolis: Fundação MT, **Boletim de Pesquisa da Fundação MT**, v.1, p.98-105, 2017b.
- Mendes, I. et. al. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Soil Ecology**, v.139, p.85-93, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.025>
- Meyer, G. et al. *Pseudomonas protegens* CHA0 does not increase phosphorus uptake from ³³P labeled synthetic hydroxyapatite by wheat grown on calcareous soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.131, p.217-228, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.01.015>

- Miljaković, D. et al. The significance of *Bacillus spp.* In disease suppression and growth promotion of field and vegetable crops. **Microorganisms**, v.8, n.7, p. 1-19, 2020. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>
- Miransari, M. Soil microbes and the availability of soil nutrients. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.35, p.3075-3084, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1338-2>
- Moe, L. A. Amino acids in the rhizosphere: From plants to microbes. **American Journal of Botany**, v.100, n.9, p.1692-1705, 2013. <https://doi.org/10.3732/ajb.1300033>
- Mommer, L. et al. Ecophysiological determinants of plant performance under flooding: a comparative study of seven plant families. **Journal of Ecology**, v.94, p.1117-1129, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2006.01175.x>
- Moterle, L.M. et. al. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, n.2, p.256-265, 2009. ISSN 1608-6690. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/519/337>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- Mukhametzyanova, A. et al. Microorganisms as phytase producers. **Microbiology**, v.81, p.291-300, 2012. <https://doi.org/10.1134/S0026261712030095>
- Muleta, D. et al. Phosphate-solubilising rhizobacteria associated with *Coffea arabica* L. in natural coffee forests of southwestern Ethiopia. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.12, n.1, p.73-84, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.07.002>
- Müller, C. and Bünemann, E.K. A 33P tracing model for quantifying gross P transformation rates in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.76, p.218-226, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.013>
- Nahas, E. and Assis, L. C. Efeito da concentração de fosfato na solubilização de fluorapatita por *Aspergillus niger*. **Revista Brasileira de Microbiologia**, v.23, p.37-42, 1992. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-114743>. Acesso em: 10 mai. 2021.
- Nascimento, M.E. et al. Aspectos morfoanatômicos e fisiológicos de *Swietenia macrophylla* king submetida a duas condições de inundação. **Brazilian Journal of Agriculture**, v.90, n.3, p.237-249, 2015. <https://doi.org/10.37856/bja.v90i3.207>
- Nelson, T.S. et al. Hydrolysis of natural phytate phosphorus in the digestive tract of calves. **Journal of Animal Science**, v.42, n.6, p.1509-1512, 1976. <https://doi.org/10.2527/jas1976.4261509x>

- Nogueira, M.A. and Hungria, M. Boas Práticas de Inoculação em Soja. **40^a Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul - Atas e Resumos**, p.40, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1020357/1/BoasPraticasd eInoculacao.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- Nuruzzaman, M. et al. Distribution of carboxylates and acid phosphatase and depletion of different phosphorus fractions in the rhizosphere of a cereal and three grain legumes. **Plant and Soil**, v.281, p.109-120, 2006. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-3936-2>.
- Nussaume, L. et al. Phosphate import in plants: Focus on the PHT1 transporters. **Frontiers in Plant Science**, v.2, p.1-12, 2011. <https://doi.org/10.3389/fpls.2011.00083>
- Olanrewaju, O. S. et al. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.33, n.197, p.1-16, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2364-9>
- Oliveira, A.K.M. and Gualtieri, S.C.J. Trocas gasosas e grau de tolerância ao estresse hídrico induzido em plantas jovens de *Tabebuia aurea* (paratudo) submetidas a alagamento. **Ciência Florestal**, v.27, n.1, p.181-191, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509826457>
- Oliveira, L. et al. Formas e tipos de coinoculação na cultura da soja no Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42, n.4, p.924-932, 2019. <https://doi.org/10.19084/rca.15828>
- Osorio, N. W. and Habte, M. Soil Phosphate Desorption Induced by a phosphate-Solubilizing Fungus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.45, p.451-460, 2014. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.870190>.
- Osorio, N.W. and Habte, M. Phosphate desorption from the surface of soil mineral particles by a phosphate-solubilizing fungus. **Biology and Fertility of Soils**, v.49, p.481-486, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0763-5>
- Osorno, L. et al. Phosphate desorption by a soil fungus in selected Hawaiian soils differing in their mineralogy. **Tropical Agriculture**, v.95, p.154-166, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325554121_Phosphate_desorption_by_a_soil_fungus_in_selected_Hawaiian_soils_differing_in_their_mineralogy. Acesso em: 10 mai. 2021.
- Pantano, G. et al. Sustainability in phosphorus use: A question of water and food security | Sustentabilidade no uso do fósforo: Uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**, v.39, n.6, p.732-740, 2016. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160086>

- Parfitt, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, v.30, p.1-50, 1979. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60702-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60702-6)
- Pastore, G. et al. Microbial release of apatite- and goethite-bound phosphate in acidic forest soils. **Geoderma**, v.370, p.114360, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114360>
- Peix, A. et al. Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solubilizing strain of *Mesorhizobium mediterraneum* under growth chamber conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, p.103-110, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00120-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00120-6).
- Puri, A. et al. In vitro and in vivo analyses of plantgrowth-promoting potential of bacteria naturally associated with spruce trees growing on nutrient-poor soils. **Applied Soil Ecology**, v.149, p.1-15, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103538>
- Plaxton, W.C. and Tran, H.T. **Metabolic adaptations of phosphate-starved plants**. *Plant Physiol*, v.156, p.1006-1015, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.111.175281>
- Ponnamperuma, F.N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, v.24, p.29-96, 1972. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60633-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60633-1)
- Povedano-Priego, C. et al. Fungal biomineralization of lead phosphates on the surface of lead metal. **Minerals Engineering**, v.106, p.46-54, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.11.007>
- Priyadharsini, P. and Muthukumar, T. Arbuscular mycorrhizal fungus influence maize root growth and architecture in rock phosphate amended tropical soil. **Anales de Biología**, v.39, p.211-222, 2017. <http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.39.22>
- Qiao, Z. et al. Effect of Phosphobacterias on Nutrient, Enzyme Activities and Phosphorus Adsorption Desorption Characteristics in a Reclaimed Soil. **Journal of Soil and Water Conservaton**, v.31, p.166-171, 2017
- Qin, L. et al. The high-affinity phosphate transporter GmPT5 regulates phosphate transport to nodules and nodulation in soybean. **Plant Physiology**, v.159, p.1634-1643, 2012. <https://doi.org/10.1104/pp.112.199786>
- Raj, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, POTAFOS, 1991. 343p.
- Ramesh, A. et al. Phosphorus mobilization from native soil P-pool upon inoculation with phytatemineralizing and phosphate-solubilizing *Bacillus aryabhatai* isolates for improved P-acquisition and growth of soybean and wheat crops in microcosm conditions. **Agricultural Research**, v.3, p.118–127, 2014. <https://doi.org/10.1007/s40003-014-0105-y>

- Ramirez, L.F.G. and Velez, D.U. Phosphorus Solubilizing and Mineralizing *Bacillus spp.* Contribute to Rice Growth Promotion Using Soil Amended with Rice Straw **Current Microbiology**, v.78, p.932-943, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02354-7>
- Rana, K. L. et al. Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability. **Antonie van Leeuwenhoek**, v.113, n.8, p.1075-1107, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10482-020-01429-y>
- Reyes, I. et al. Effect of nitrogen source on the solubilization of different inorganic phosphates by an isolate of *Penicillium rugulosum* and two UV-induced mutants. **FEMS Microbiology Ecology**, v.28, p.281-290, 1999. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1999.tb00583.x>
- Raymond, N.S. et al. Phosphate-solubilising microorganisms for improved crop productivity: A critical assessment. **New Phytologist**, v.229, p.1268-1277, 2020. <https://doi.org/10.1111/nph.16924>
- Reza, M.N. et al. Rice yield estimation based on K-means clustering with graph-cut segmentation using low-altitude UAV images. **Biosystems Engineering**, v.177, p.109-121, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.09.014>
- Reza, S.K. et al. Phosphorus solubilization through organic acids production in pressmud composted with rock phosphate. **National Academy Science Letters**, v.40, p.13-16, 2017. <https://doi.org/10.1007/s40009-016-0511-8>
- Rolewicz, M. et al. Obtaining of granular fertilizers based on ashes from combustion of waste residues and ground bones using phosphorous solubilization by bacteria *Bacillus megaterium*. **Journal of Environmental Management**, v.216, p.128-132, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.004>
- Romero-Perdomo, F. et al. Phosphorus nutrition and growth of cotton plants inoculated with Growth-Promoting Bacteria Under Low Phosphate Availability. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 2021. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.618425>
- Rosolem, C.A. and Tavares, C.A. Sintomas de deficiência tardia de fósforo em soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.385-389, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200018>
- Rumjanek, et al., Fixação biológica do nitrogênio. In: Freire Filho, F.R. et al. (Eds.) Feijão-Caupi; avanços tecnológicos. Brasília: EMBRAPA, p.281-335, 2005.
- Sah, R.N. and Mikkelsen, D.S. Transformations of inorganic phosphorus during the flooding and draining cycles of soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.62-67, 1986. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000010012x>

- Sairam, R.K. et al. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, v.52, p.401-412, 2008. <https://doi.org/10.1007/s10535-008-0084-6>
- Sandilya, S.P. et al. Phosphorus Solubilization and Plant Growth Promotion Ability of Rhizobacteria of *R. communis* L Growing in Assam, India. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, v.88, p.959-966, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40011-016-0833-9>
- Sanguin, H. et al. Assessment of functional diversity and structure of phytate-hydrolysing bacterial community in *Lolium perenne* rhizosphere. **Plant and Soil**, v.401, p.151–167, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2512-7>
- Santos, S. et al. Siderophore production by *Bacillus megaterium*: effect of growth phase and cultural conditions. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.172, p.549-560, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0562-y>
- Schachtman, D.P. et al. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. **Plant Physiology**, v.116, p.447-453, 1998. <https://doi.org/10.1104/pp.116.2.447>
- Scheible, W-R. and Rojas-Triana, M. Sensing, signalling, and Control of phosphate starvation in plants: molecular players and applications. *In: Annual Plant Reviews. Phosphorus Metabolism in Plants*, v.48, p.25, 2018. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0517>
- Schwab, K.B. et al. Response of photosynthesis and respiration of resurrection plants to desiccation and rehydration. **Planta**, v.177, p.217–227, 1989. <https://doi.org/10.1007/BF00392810>
- Schwertmann, U. and Taylor, R.E. Iron oxides. *In: Dixon, J. B.; Weed, S. B., eds. Minerals in Soil Environments*, p.379-438, 1989. <https://doi.org/10.2136/sssabookser1.2ed.c8>
- Serraj, R. et al. Salt stress induces a decrease in the oxygen uptake of soybean nodules and in their permeability to oxygen diffusion. **Physiology Plantarum**, v.91, n.2, p.161-168, 1994. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1994.tb00414.x>
- Serres, B.J. and Voesenek, L.A.C.J. Flooding Stress: Acclimations and Genetic Diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.313-339, 2008. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092752>
- Shalini, T. et al. Bacillus: Plant growth promoting bacteria for sustainable agriculture and environment. **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**, p.43–55, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64191-5.00003-1>
- Sharma, S.B. et al. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **Springer Plus**, v.2, n.587, 2013. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>

- Shastri, B. and Kumar, R. Microbial secondary metabolites and plant–microbe communications in the rhizosphere. **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**, p.93-111, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818258-1.00006-6>
- Siebers, M. et al. Membrane Remodelling in Phosphorus-deficient Plants. *In: Annual Plant Reviews, Phosphorus Metabolism in Plants*, v.48, p.237-263, 2015. <https://doi.org/10.1002/9781118958841.ch9>
- Silva, I.W. et al. Growth Promoting Microorganisms for Treatment of Soybean Seeds. **Journal of Agricultural Science**; v.10, n.6; 2018. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n6p198>
- Silva, I.W. et al. The impact of biofertilizers with diazotrophic bacteria and fungi chitosan on melon characteristics and nutrient uptake as an alternative for conventional fertilizers. **Scientia Horticulturae**, v.209, p.236–240, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.06.027>
- Silva Filho, G.N. et al., 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. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000600014>
- Silva Filho, G. N. and Vidor, C. Solubilização de fosfatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.311-319, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200008>
- Sindhu, S.S. and Dadarwal, K.R. Chitinolytic and cellulolytic *Pseudomonas sp.* antagonistic to fungal pathogens enhances nodulation by *Mesorhizobium sp.* Cicer in chickpea. **Microbiological Research**, v.156, p.353-358, 2001.
- Singh, B. and Satyanarayana, T. Plant growth promotion by phytases and phytase-producing microbes due to amelioration in phosphorus availability. **Microorganisms in Sustainable Agriculture and Biotechnology**, p.3-15, 2012. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2214-9_1
- Singh, B. et al. Contribution of microbial phytases to the improvement of plant growth and nutrition: a review. **Pedosphere**, v.30, n.3, p.295-313, 2020. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60010-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60010-8)
- Smil, V. Phosphorus in the Environment: Natural Flows and Human Interferences. **Annual Review of Energy and the Environment**, v.25, p.53-88, 2000. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.53>
- Smith, F.W. et al. Phosphate transport in plants. **Plant and Soil**, v.248, p.71-83, 2003. <https://doi.org/10.1023/A:1022376332180>
- Tabatabai, M.A. **Soil enzymes**. In: Weaver, R.W., et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA Book Ser 5. SSSA, Madison, p.778–833, 1994.

- Tamura, Y. et al. Identification and expression analysis of arbuscular mycorrhiza-inducible phosphate transporter genes of soybean. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v.76, p.309-313, 2012. <https://doi.org/10.1271/bbb.110684>
- Tao, G.C. et al. Phosphate-Solubilizing and -Mineralizing Abilities of Bacteria Isolated from Soils. **Pedosphere**, v.18, p.515–523, 2008. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(08\)60042-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(08)60042-9)
- Tapiador, F.J. et al. Consensus in climate classifications for present climate and global warming scenarios. **Atmospheric Research**, v.216, p.26-36, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.09.017>
- Tavanti, T.R. et al. Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, p.65-71, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p65-71>
- Tedesco-Oliveira, D. et al. Convolutional neural networks in predicting cotton yield from images of commercial fields. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.171, p.105307, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105307>
- Toni, R.A. et al. Analysis of soybean cultivars in response to different forms of inoculation. **Scientific Electronic Archives**, v.11, p.5, 2018. <https://doi.org/10.36560/1152018549>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.11.014>
- Ullrich-Eberius, C.I. et al. Relationship between energy-dependent phosphate uptake and the electrical membrane potential in *Lemna gibba* G1. **Plant Physiology**, v.67, p.797-801, 1981. <https://doi.org/10.1104/pp.67.4.797>
- Ulrich, A.E. and Frossard, E. On the history of a reoccurring concept: phosphorus scarcity. **Science of The Total Environment**, v.490, p.694-707, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.050>
- Uribe, D. et al. Role of microbial biofertilizers in the development of a sustainable agriculture in the tropics. **Soil Biology and Agriculture in the Tropics**, p.235–250, 2010. https://doi.org/10.1007/978-3-642-05076-3_11
- USDA. Department of Agriculture of United States. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. **Keys to soil taxonomy**. 12th ed. Washington, DC, 2014. 360 p.

- Vahl, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: Gomes, A.S. and Pauletto, E.A., eds. Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Pelotas, Embrapa/CPACT, p.119-162, 1999.
- Vassilev, N. et al. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. **Plant and Soil**, v.287, n.77, 2006. <https://doi.org/10.1007/s11104-006-9054-y>
- Velagaleti, R.R. et al. Genotypic differences in growth and nitrogen fixation among soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars grown under salt stress. **Tropical Agriculture**, v.67, p.169-177, 1990. ISSN:0041-3216. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19900735877>. Acesso em: 10 de mai. 2021.
- Vieira Neto, S.A. et al. Growth and yield performance of soybean with the application of *Bradyrhizobium* inoculant via furrow and seed. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.4, p.2387-2398, 2017. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4Supl1p2387>
- Vives-Peris, V. et al. Root exudates from citrus plants subjected to abiotic stress conditions have a positive effect on rhizobacteria. **Journal of Plant Physiology**, v.228, p.208-217, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.06.003>
- Wagi, S. and Ahmed, A. *Bacillus spp.*: Potent microfactories of bacterial IAA. **PeerJ** 7: e7258, n.7, 2019. <https://doi.org/10.7717/peerj.7258>
- Wang, Q. et al. Phosphate rock solubilization and the potential for lead immobilization by a phosphate solubilizing bacterium (*Pseudomonas sp.*). **Journal of Environmental Science and Health**, v.55, p.411-420, 2020. <https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1704134>
- Wei, Y. et al. Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation. **Bioresource Technology**, v.247, p.190-199, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.092>
- Wu, S. et al. Sulfur cycling in freshwater sediments: A cryptic driving force of iron deposition and phosphorus mobilization. **Science of The Total Environment**, v.657, p.1294-1303, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.161>
- Wyciskiewicz, M. et al. Utilization of microorganisms in the solubilization of low-quality phosphorus raw material. **Ecological Engineering**, v.89, p.109-113, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.065>
- Xiong, C. et al. Understanding the pathway of phosphorus metabolism in urban household consumption system: A case study of Dar es Salaam, Tanzania. **Journal of Cleaner Production**, v.274, p.122-874, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122874>

- Xu, X. et al. Wetting-drying cycles during a rice-wheat crop rotation rapidly (im) mobilize recalcitrant soil phosphorus. **Journal of Soils and Sediments**, v.20, p.3921-3930, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02712-1>
- Yan, J. et al. Effects of long-term fertilization strategies on soil productivity and soybean rhizobial diversity in a Chinese Mollisol. **Pedosphere**, v.29, p.784-793, 2019. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(17\)60470-3](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(17)60470-3)
- Young, L.S. et al. Endophytic establishment of the soil isolate *Burkholderia sp.* CC-A174 enhances growth and P-utilization rate in maize (*Zea mays* L.). **Applied Soil Ecology**, v.66, p.40-47, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.02.001>
- Zai, X. et al. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Phosphate-Solubilizing Fungus on the Rooting, Growth of Beach Plum (*Prunus maritima*) Cuttings. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.82, p.863-866, 2015. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512319>
- Zaidi, A. et al. Role of phosphate-Solubilizing Bacteria in Legume Improvement. **Microbes for Legume Improvement**; p.273-292, 2010. https://doi.org/10.1007/978-3-211-99753-6_11
- Zhang, D. J. et al. Auxin modulates root-hair growth through its signaling pathway in citrus. **Scientia Horticulturae**, v.236, n.16, p.73-78, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.038>
- Zhang, Z. et al. Molecular mechanisms underlying phosphate sensing, signaling, and adaptation in plants. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.56, p.192-220, 2014. <https://doi.org/10.1111/jipb.12163>
- Zheng, B.X. et al. Straw biochar increases the abundance of inorganic phosphate solubilizing bacterial community for better rape (*Brassica napus*) growth and phosphate uptake. **Science of The Total Environment**, v.647, p.1113-1120, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.454>
- Zhu, J. et al. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: a review. **Science of The Total Environment**, v.612, p.522-537, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.095>
- Zucareli, C. et al. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.32-38, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000100005>
- Zuffo, A.M. et al. Response of early soybean cultivars to nitrogen fertilization associated with *Bradyrhizobium japonicum* inoculation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.48, n.4, p.436-446, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4852637>

APÊNDICE



RELATÓRIO DE ENSAIO DE SOLO - ANÁLISE QUÍMICA

Página 01 de 01

NOME: Isledi William da Silva

CPF:

Código do Produtor:

Endereço: Rua 7 de Setembro, 1439 - Augusto Pestana - RS

Data de Recebimento: 28/08/2020

Data de Emissão: 02/09/2020

Nº Amostra	Identificação da Amostra	β -D-Glicosidase (mg/Kg solo/hora)	Aritsulfatase (mg/Kg solo/hora)
149655/20	0-10 cm	17,60	25,67
149656/20	10-20 cm	23,33	26,16

Referências

Mendes, L. C. et. al. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. *Soil Ecology* 139 (2019) 85-93. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.2019.02.025>

Tabatabal, M.A., 1994. Soil enzymes. In: Weaver, R.W., et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA Book Ser 5. SSSA, Madison, pp. 778-833.

Observações

Resultados expressos em base seca em mg de p.nitrofenol/Kg solo/hora.

Até o presente momento as tabelas de interpretação dos resultados obtidos na análise de solo, são restritas a região do Cerrado Brasileiro, não havendo disponibilidade para as demais regiões brasileiras. Assim, o produtor terá que interpretar os dados apresentados nas análises.

"Os resultados apresentados neste relatório de ensaio tem significação restrita e se aplicam somente a amostra ensaiada. As informações referentes à amostragem, escolha do ponto de coleta da amostra, como também sua identificação, são de responsabilidade do cliente. A reprodução deste documento somente poderá ser realizada integralmente, sem nenhuma alteração."

Santa Cruz do Sul, 02 de setembro de 2020.

Ezequiel Bavaresco Cremonese
 Signatário Autorizado
 Responsável Técnico
 CRQ V 05202523

Código de Segurança: 4521BB2686858D98E37EA8C331F4298B

Solicitante: 3 Tentos Agroindustrial S/A

Ordem de Serviço Nº: 6456/2020

Laboratório Participante da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - ROLAS e do Programa de Controle de Qualidade de Laboratórios com Sistema Embrapa de Análises de Solo - PAQLF.

UNISC / Central Analítica Av. Independência, 2293 - Bloco 11 - 96.815-900 - Santa Cruz do Sul (RS) ☎ (51) 3717 7500
www.unisc.br/centralanalitica ✉ central@unisc.br