

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROBIOLOGIA**

Jéssica Giovelli

NÍVEIS DE FÓSFORO E INOCULAÇÃO DE SEMENTES POR *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) E *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA

Santa Maria, RS
2022

Jéssica Giovelli

**NÍVEIS DE FÓSFORO E INOCULAÇÃO DE SEMENTES POR *Bacillus megaterium*
(CNPMS B119) E *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) NO CRESCIMENTO E
DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agrobiologia**.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciane Almeri Tabaldi

Santa Maria, RS
2022

Giovelli, Jéssica
NÍVEIS DE FÓSFORO E INOCULAÇÃO DE SEMENTES POR
Bacillus megaterium (CNPMS B119) E Bacillus subtilis
(CNPMS B2084) NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE
PLANTAS DE SOJA / Jéssica Giovelli.- 2022.
121 p.; 30 cm

Orientadora: Luciane Tabaldi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Agrobiologia, RS, 2022

1. Solubilização de fósforo 2. Bactérias
solubilizadoras de fósforo 3. Microrganismos inoculantes
4. Glycine max I. Tabaldi, Luciane II. 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.

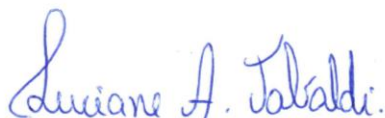
Declaro, JÉSSICA GIOVELLI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que 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.

Jéssica Giovelli

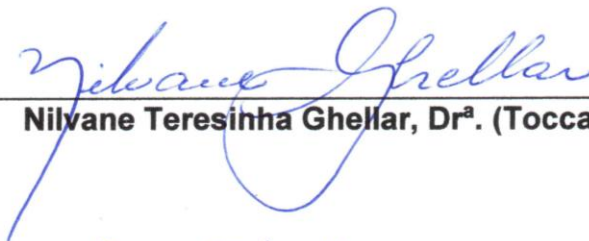
**NÍVEIS DE FÓSFORO E INOCULAÇÃO DE SEMENTES POR *Bacillus megaterium*
(CNPMS B119) E *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) NO CRESCIMENTO E
DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agrobiologia**.

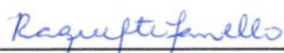
Aprovado em 15 de março de 2022:



Luciane Almeri Tabaldi, Dr^a. (UFSM)
(Presidente/orientador)



Nilvane Teresinha Ghellar, Dr^a. (Toccare Paisagismo)



Raquel Stefanello, Dr^a. (UFSM)

Santa Maria, RS
2022

AGRADECIMENTOS

À Deus por sempre ser tão generoso comigo com suas bênçãos em minha vida.

Aos meus pais, Neiva e Luis, pelo amor incondicional, e pelo exemplo de vida, trabalho, dedicação e força.

A minha orientadora, professora Dr^a. Luciane pela total acessibilidade, disponibilidade e dedicação em me atender nas horas em que precisei.

Ao meu noivo Diego, pelo companheirismo, apoio, incentivo e ajuda.

Ao grupo de pesquisa do laboratório de fisiologia vegetal pela ajuda nas análises e condução do experimento.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de bolsa durante o curso.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta para tornar esse sonho realidade.

RESUMO

NÍVEIS DE FÓSFORO E INOCULAÇÃO DE SEMENTES POR *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) E *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA

AUTORA: Jéssica Giovelli
ORIENTADORA: Luciane Almeri Tabaldi

O fósforo (P) é um elemento fundamental no metabolismo das plantas e um nutriente limitante para produção agrícola em solos tropicais. Assim, práticas que visem aumentar a eficiência desse nutriente são fundamentais. O objetivo do estudo foi avaliar se a inoculação de sementes com *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) afeta positivamente o crescimento e desenvolvimento de plantas de soja e aumenta a solubilização de P em diferentes solos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Santa Maria, RS. Os tratamentos foram constituídos por um fatorial 5 (níveis de P: 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da dose recomendada) x 2 (com e sem inoculante) x 2 (Latossolo com textura argila siltosa e Argissolo com textura franco-arenoso). Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições, sendo cada uma formada por 3 vasos. Foram avaliadas as seguintes variáveis: estatura das plantas e atributos fisiológicos nos estádios fenológicos V4, R2 e R5; atividade da enzima fosfatase ácida, teor das clorofilas *a*, *b* e total, parâmetros morfológicos do sistema radicular, massa seca de raiz e parte aérea, teor de P nos tecidos e área foliar no estágio R2. Ao final do ciclo da cultura (estádio R8) foram avaliados o número e massa de grãos produzidos em cada planta, peso de mil grãos, além de vigor de sementes. Também foi analisado o teor de P residual no solo. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para a comparação das médias de tratamentos qualitativos e análise de regressão para tratamentos quantitativos. Os resultados obtidos indicaram que: a inoculação de sementes com *B. megaterium* e *B. subtilis* não interferiu no crescimento e desenvolvimento das plantas de soja, independentemente do tipo de solo utilizado; a inoculação de sementes com *B. megaterium* e *B. subtilis* não influenciou a solubilização do fósforo fixado ao solo e a eficiência de utilização do mesmo; as variáveis fisiológicas, morfológicas e de produtividade das plantas de soja foram influenciadas positivamente pelo aumento dos níveis de P, sendo que tal resposta foi influenciada pelo tipo de solo. Portanto, nas condições desse trabalho, a inoculação de sementes com *B. megaterium* (CNPMS B119) e *B. subtilis* (CNPMS B2084) não afetou positivamente o crescimento e desenvolvimento de plantas de soja e não aumentou a solubilização de P em diferentes solos.

Palavras-chave: Solubilização de fósforo. Bactérias solubilizadoras de fósforo. Microrganismos inoculantes. *Glycine max*.

ABSTRACT

PHOSPHORUS LEVELS AND INOCULATION OF SEEDS BY *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) AND *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) IN THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SOYBEAN PLANTS

AUTHOR: Jéssica Giovelli
ADVISOR: Luciane Almeri Tabaldi

Phosphorus (P) is a fundamental element in plant metabolism and a limiting nutrient for agricultural production in tropical soils. Practices aimed at increasing the efficiency of this nutrient are essential. The aim of the study was to evaluate whether seed inoculation with *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) and *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) affects the growth and development of soybean plants and increases P solubilization in different soils. The experiment was carried out in a greenhouse at the Federal University of Santa Maria, RS. The treatments consisted of a factorial 5 (P levels: 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of the recommended dose) x 2 (with and without inoculant) x 2 (Oxisol with silty clay texture and Argisol with loamy texture). A completely randomized design was used with 4 replications, each consisting of 3 pots. The following parameters were evaluated: plant height and physiological attributes at phenological stages V4, R2 and R5; acid phosphatase enzyme activity, chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, chlorophyll total and carotenoids content, morphological parameters of the root system, root and shoot dry mass, tissue P content and leaf area at stage R2. At the end of the crop cycle (R8 stage) the number and mass of grains produced in each plant, weight of a thousand grains, and seed vigor were evaluated. The residual P content in the soil was also analyzed. The data obtained were submitted to analysis of variance (ANOVA) and subsequently to Tukey's test ($p \leq 0.05$) to compare the means of qualitative treatments and regression analysis for quantitative treatments. The results obtained indicated that: seed inoculation with *B. megaterium* and *B. subtilis* did not interfere the growth and development of soybean plants, regardless of the type of soil used; seed inoculation with *B. megaterium* and *B. subtilis* did not influence the solubilization of fixed phosphorus in the soil and its utilization efficiency; the physiological, morphological and productivity parameters of soybean plants were positively influenced by the increase in P levels, and this response was influenced by the type of soil. Therefore, under the conditions of this work, seed inoculation with *B. megaterium* (CNPMS B119) and *B. subtilis* (CNPMS B2084) did not positively affect the growth and development of soybean plants and did not increase P solubilization in different soils.

Key-words: Phosphorus solubilization. Phosphorus-solubilizing bacteria. Inoculant microorganisms. *Glycine max*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos utilizados no experimento. Santa Maria/RS, 2022.	30
Tabela 2 - Doses de superfosfato triplo (SPT) utilizadas no experimento. Santa Maria/RS, 2022.	31
Tabela 3 - Estatura de plantas (EP) de soja nos estádios V4 e R5 em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.	38
Tabela 4 - Área foliar (AF) por planta de soja em função dos fatores tipos de solo e inoculante. Santa Maria/RS, 2022.	39
Tabela 5 - Massa seca de raiz (MSR) e razão parte aérea/raiz de plantas de soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.	41
Tabela 6 - Clorofila <i>b</i> (Chl <i>b</i>) em plantas de soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.	45
Tabela 7 - Número de grãos por planta (NGP) e produção de grãos por planta (PG) de plantas de soja em função dos tipos de solos. Santa Maria/RS, 2022.	47
Tabela 8 - Número de grãos por planta (NGP), produção de grãos por planta (PG), peso de mil grãos (PMG) e vigor de sementes (VS) de plantas de soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.	48
Tabela 9 - Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A), concentração intercelular de CO ₂ (Ci), taxa transpiratória (E), eficiência de uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci) em função dos tipos de solo avaliados em estádio V4. Santa Maria/RS, 2022.	55
Tabela 10 - Concentração intercelular de CO ₂ (Ci), taxa transpiratória (E) e eficiência de uso da água (EUA) em função do fator inoculante avaliados no estádio V4. Santa Maria/RS, 2022.	55
Tabela 11 - Condutância estomática (Gs), concentração intercelular de CO ₂ (Ci), taxa transpiratória (E), eficiência de uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci) em função dos tipos de solo avaliados no estádio R2. Santa Maria/RS, 2022.	55
Tabela 12 - Condutância estomática (Gs), concentração intercelular de CO ₂ (Ci), taxa transpiratória (E), eficiência de uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci) em função do fator inoculante avaliados em estádio R2. Santa Maria/RS, 2022.	56
Tabela 13 - Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A) em função dos tipos de solo e fator inoculante avaliados em estádio R2. Santa Maria/RS, 2022.	56
Tabela 14 - Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A), Condutância estomática (Gs), concentração intercelular de CO ₂ (Ci), taxa transpiratória (E), eficiência de uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci) em função do fator inoculante avaliados em estágio R5. Santa Maria/RS, 2022.	56
Tabela 15 - Concentração intercelular de CO ₂ (Ci), taxa transpiratória (E) e eficiência de uso da água (EUA) de plantas de soja em função dos tipos de solo avaliados no estádio R5. Santa Maria/RS, 2022.	57
Tabela 16 - Diâmetro de raiz de planta de soja em função dos tipos de solos. Santa Maria/RS, 2022.	59
Tabela 17 - Comprimento de raiz, área de raiz, volume de raiz e diâmetro de raiz em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.	59

Tabela 18 - Eficiência de utilização de P na raiz (EUR) e Eficiência de absorção (EA) de P em plantas de soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.	63
Tabela 19- Teor de P disponível no solo em função dos tipos de solos e fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.	64

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Estatura de plantas (EP) de soja nos estádios V4 (a), R2 (b e d), R5 (c) em função da interação entre níveis de P e tipos de solos (a, b, c), e interação entre níveis de P e fator inoculante (d). Santa Maria/RS, 2022.37
- Figura 2 - Área foliar (AF) por planta de soja em função de níveis de P. Santa Maria/RS, 2022.39
- Figura 3 - Massa seca de parte aérea (MSPA) (a, b), massa seca de raiz (MSR) (c) e razão parte aérea/raiz (d) de plantas de soja em função da interação de níveis de P e tipos de solos (a, c, d) e interação níveis de P e fator inoculante (b). Santa Maria/RS, 2022.40
- Figura 4 - Atividade da fosfatase ácida de parte aérea (FAPA) (a, b) e raiz (FAR) (c, d) de plantas de soja em função da interação de níveis de P, tipos de solos e fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.42
- Figura 5 - Carotenoides (Carot) (a e b), Clorofila total (Chl t) (c e d), Clorofila a (Chl a) (e, f) e Clorofila b (Chl b) (g) em plantas de soja em função da interação de níveis de P e tipos de solos (g) e da interação níveis de P, tipos de solo e fator inoculante (a, b, c, d, e, f). Santa Maria/RS, 2022.44
- Figura 6 - Produção de grãos por planta (PG) (a), número de grãos por planta (NGP) (b) peso de mil grãos (PMG) (c) e vigor de sementes (VS) (d) de soja em função de níveis de P (a e b) e da interação de níveis de P e tipos de solos (c e d). Santa Maria/RS, 2022.47
- Figura 7 - Taxa de assimilação líquida (A) de planta de soja nos estádios V4 (a), R2 (b) e R5 (c) em função de níveis de P (b), e das interações entre níveis de P e fator inoculante (a) e níveis de P e tipos de solo (c). Santa Maria/RS, 2022.49
- Figura 8 - Condutância estomática (Gs) de planta de soja nos estádios V4 (a e b), R2 (c) e R5 (d) em função de níveis de P (c) e das interações entre níveis de P e tipos de solos (d) e níveis de P, tipos de solo e fator inoculante (a e b). Santa Maria/RS, 2022.50
- Figura 9 - Concentração intercelular de CO₂ (Ci) em plantas de soja nos estádios V4 (a) R2 (b) e R5 (c) em função de níveis de P. Santa Maria/RS, 2022.51
- Figura 10 - Taxa de transpiração (E) em plantas de soja nos estádios V4 (a) R2 (b) e R5 (c) em função de níveis de P. Santa Maria/RS, 2022.52
- Figura 11- Eficiência de uso da água (EUA) em plantas de soja nos estádios V4 (a), R2 (b) e R5 (c) em função de níveis de P. Santa Maria/RS, 2022.53
- Figura 12 - Eficiência instantânea de carboxilação pela Rubisco (A/Ci) em plantas de soja nos estádios V4 (a), R2 (b) e R5 (c) em função de níveis de P (b) e das interações níveis de P e inoculante (a) e níveis de P e tipos de solo (c). Santa Maria/RS, 2022.54
- Figura 13 - Comprimento (a), área (b), volume (c) e diâmetro (d) de raiz de planta de soja em função de níveis de P (d) e da interação de níveis de P e tipos de solos (a, b, c). Santa Maria/RS, 2022.58
- Figura 14 - Teor de P nas folhas de plantas de soja em função da interação de níveis de P, tipos de solos e fator inoculante (a e b); e teor de P nas raízes de plantas de soja em função da interação de níveis de P e fator inoculante (c) e da interação de níveis de P e tipos de solo (d). Santa Maria/RS, 2022.60

Figura 15 - Eficiência de utilização de P por plantas (EUPP) de soja em função da interação do fator inoculante e níveis de P e dos fatores níveis de P e tipos de solo (a e b); Eficiência de utilização de P na parte aérea (EUPA) em função níveis de P, tipos de solos e fator inoculante (c e d); Eficiência de utilização de P na raiz (EUR) em razão dos níveis de P e tipos de solo (e); e Eficiência de absorção (EA) de P em razão dos níveis de P e tipos de solo (f). Santa Maria/RS, 2022.	62
Figura 16 - Teor de P disponível no solo em função dos níveis de P. Santa Maria/RS, 2022.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

P	Fósforo
BSP	Bactérias solubilizadas de fósforo
EP	Estatua de plantas
AF	Área foliar
MSPA	Massa seca de parte aérea
MSR	Massa seca de raiz
FAPA	Fosfatase ácida em parte aérea
FAR	Fosfatase ácida em raiz
Carot	Carotenoides
Chl t	Clorofila total
Chl a	Clorofila a
Chl b	Clorofila b
PG	Produção de grãos
NGP	Número de grãos produzidos
PMG	Peso de mil grãos
A	Taxa de assimilação líquida de CO ₂
E	Taxa transpiratória
Gs	Condutância estomática
Ci	Concentração intercelular de CO ₂
A/Ci	Eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco
EUA	Eficiência de uso da água
CR	Comprimento de raiz
AR	Área de raiz
VR	Volume de raiz
DR	Diâmetro de raiz
CO ₂	Dióxido de carbono
ATP	Trifosfato de Adenosina
ADP	Difosfato de Adenosina
N	Nitrogênio
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
N ₂	Nitrogênio atmosférico
Fe	Ferro
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
EUPP	Eficiência de utilização de fósforo por plantas
EUPA	Eficiência de utilização de fósforo na parte aérea
EUR	Eficiência de utilização de fósforo na raiz
EA	Eficiência de absorção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	A CULTURA DA SOJA	21
2.2	USO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS	21
2.3	FÓSFORO	23
2.4	BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO	24
3	OBJETIVOS	27
3.1	OBJETIVO GERAL	27
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
4	MATERIAL E MÉTODOS	29
5	RESULTADOS	37
5.1	ESTATURA DE PLANTAS (EP)	37
5.2	ÁREA FOLIAR (AF)	39
5.3	MASSA SECA DE PARTE AÉREA (MSPA) E MASSA SECA DE RAIZ (MSR) 40	
5.4	ATIVIDADE DA ENZIMA FOSFATASE ÁCIDA EM PARTE AÉREA (FAPA) E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA EM RAIZ (FAR)	42
5.5	ANÁLISES DE PIGMENTOS FOTOSSINTETIZANTES: CAROTENOIDES (Carot), CLOROFILA TOTAL (Chl t), CLOROFILA <i>a</i> (Chl <i>a</i>) E CLOROFILA <i>b</i> (Chl <i>b</i>)	43
5.6	PRODUÇÃO DE GRÃOS POR PLANTA (PG), NÚMERO DE GRÃOS PRODUZIDOS POR PLANTA (NGP), PESO DE MIL GRÃOS (PMS) E VIGOR DE SEMENTES (VS)	46
5.7	ATRIBUTOS FOTOSSINTÉTICOS: TAXA DE ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA DE CO ₂ (A), TAXA TRANSPIRATÓRIA (E), CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (GS), CONCENTRAÇÃO INTERCELULAR DE CO ₂ (CI), EFICIÊNCIA DE CARBOXILAÇÃO INSTANTÂNEA DA RUBISCO (A/CI), EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA (EUA)	48
5.8	PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DO SISTEMA RADICULAR: COMPRIMENTO DE RAIZ (CR), ÁREA DE RAIZ (AR), VOLUME DE RAIZ (VR), E DIÂMETRO DE RAIZ (DR)	57
5.9	TEOR DE P NA PLANTA	59
5.10	TEOR DE P NO SOLO	63
6	DISCUSSÃO	65
7	CONCLUSÕES	85
	REFERÊNCIAS	87
	APÊNDICES	101
	ANEXOS	120

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das culturas de maior importância econômica no mundo e sua demanda cresce a cada ano. No Brasil, a expansão do cultivo tem aumentado constantemente a demanda por fertilizantes, e em particular, pelo fósforo (P). Para o desenvolvimento adequado da soja, é necessário que sejam utilizadas grandes quantidades do fertilizante a fim de suprir a necessidade nutricional da planta. Grande parte dos solos brasileiros, devido ao alto grau de intemperismo, carece de P na forma disponível, devido à forte ligação do mesmo com as partículas do solo e a baixa mobilidade do mesmo no solo.

A disponibilidade de P pode influenciar diretamente no desenvolvimento e produtividade das plantas. Este elemento é vital na formação de compostos orgânicos, produção de energia, na respiração, divisão celular e em diversos outros processos metabólicos, além da produção das substâncias de reserva.

O P é considerado um nutriente de baixa eficiência, visto que do total de P aplicado via fertilizantes, grande parte fica retido no solo. Uma possível forma de reduzir esse problema é a utilização de microrganismos capazes de disponibilizar o P existente no solo que se encontra indisponível às plantas. Entre esses microrganismos, destacam-se determinadas bactérias do gênero *Bacillus*. Uma maneira de utilização dessas bactérias é através de sua formulação como inoculante e aplicação via tratamento de sementes, fazendo com que as mesmas possam colonizar a rizosfera das plantas.

Cabe ressaltar que as rochas fosfatadas utilizadas na obtenção dos fosfatos são recursos não renováveis e finitos, e que a cada ano mais rochas fosfatadas são usadas para atender a demanda de fertilizantes. Neste sentido, torna-se importante a realização de estudos que avaliem alternativas mais sustentáveis para a utilização do nutriente. Através do presente estudo espera-se avaliar o potencial de microrganismos na solubilização de fosfatos, melhorando a eficiência da utilização desse nutriente e, conseqüentemente, reduzindo a necessidade de aplicação do mesmo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merr) é uma planta oleaginosa pertencente à família Fabaceae. Seus ancestrais eram plantas rasteiras que se desenvolviam especialmente na China e sul do Japão, evoluindo a partir de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem, que posteriormente foram domesticadas e melhoradas por cientistas chineses (MIRANDA, 2014).

No Brasil, a cultura foi introduzida em 1882 trazida dos Estados Unidos por Gustavo Dutra, professor da Escola de Agronomia da Bahia que realizou as primeiras pesquisas de avaliação de cultivares provenientes daquele país. No Rio Grande do Sul a soja teria sido cultivada pela primeira vez em Dom Pedrito em 1900 (BONATO; BONATO, 1987), onde encontrou ambiente favorável para o desenvolvimento, visto que as condições eram semelhantes à região de origem, nos Estados Unidos. Nos demais estados, a introdução da cultura só foi possível após o desenvolvimento de cultivares adaptadas ao clima mais quente.

A expansão da soja no estado do Rio Grande do Sul se deu principalmente na zona do Alto Uruguai, mais precisamente no município de Santa Rosa. Nos primórdios de seu cultivo no estado, a soja era utilizada como fonte de alimento dos suínos, sendo cultivada juntamente com o milho, e seu excedente era exportado. A partir da década de 50 houve a fixação de indústrias que iniciaram a produção de óleos comestíveis na região (PIROLLA; BENTO, 2008).

Atualmente, a soja influencia fortemente a economia mundial e em particular do Brasil, sendo a principal cultura do agronegócio brasileiro. Dados mostram o país como o segundo maior produtor do grão com uma produção de 135.912,3 milhões de toneladas. A maioria dos estados brasileiros produz soja, com destaque para o Rio Grande do Sul que na safra 2020/21 produziu 20,79 milhões de toneladas, correspondendo a 15,3% da produção nacional (CONAB, 2021, p.14).

2.2 USO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

Com seu alto potencial agrícola, a produção de soja tem aumentado a cada ano no país e tem sido acompanhada pelo aumento do consumo de fertilizantes,

principalmente os fosfatados. Mesmo o P não sendo o nutriente mais demandado pela planta de soja, é necessário aplicar altas doses de fertilizantes fosfatados que são de alto custo econômico e ambiental para que se tenha um adequado desenvolvimento da cultura.

A maioria dos solos agrícolas contém grandes reservas deste nutriente, pois parte considerável acumulou-se como consequência de aplicações regulares de P pelos agricultores. Um estudo realizado pela Embrapa solo (2018a) revelou que quase metade do P aplicado na agricultura em forma de fertilizante inorgânico nos últimos 50 anos continua no solo, pois grande parte do P assimilável dos fertilizantes é rapidamente imobilizado quando aplicado no solo (GLICK, 2012).

A baixa disponibilidade desse nutriente em solos brasileiros é devido ao material de origem e a grande estabilidade dos fosfatos na fase sólida do solo, decorrente da formação de compostos que se ligam com alta energia aos coloides, especialmente aos óxidos de ferro e alumínio, constituintes da fração de argila, que mais adsorvem P (LEITE, 2015). Isso acaba levando a uma carência do nutriente nestes solos e tornando-se indispensável à utilização de fertilizantes para uma adequada nutrição e maior produtividade das culturas (SILVA, M.; IGNACIO; SILVA, G., 2017).

Diversos atributos do solo podem influenciar a adsorção de P, sendo os principais: o tipo e teor de argila, de coloides amorfos e de matéria orgânica (NOVAIS; SMYTH, 1999). Segundo Machado e Souza (2012), a disponibilidade de P no solo depende do seu teor de argila, sendo que quanto maior for o seu teor e o tempo de permanência do P no solo, maior sua adsorção e menor sua disponibilidade.

Uma das práticas mais utilizadas pelos agricultores para reduzir a fixação do fosfato é a realização da calagem que visa corrigir o pH do solo. A aplicação de corretivos em solos ácidos eleva o pH da solução do solo, aumenta as cargas negativas no complexo de troca e diminui a solubilidade do Al e Fe, aumentando por isso a disponibilidade de P na solução do solo e a retenção de cátions (ERNANI; NASCIMENTO; CAMPOS, 2000).

Contudo, mesmo com a prática de correção de pH do solo, a utilização de P dos fertilizantes tem baixa eficiência. Esta é em torno de 15% no primeiro ano e somente 1-2% nos anos seguintes, resultando que somente 2/3 do P aplicado é absorvido ao fim de 30 anos. Entretanto, é importante destacar que a eficiência da

utilização de fertilizantes fosfatados depende das condições de tipo de cultura, características do solo, clima, época e localização do fertilizante fosfatado (REETZ, 2017).

Cabe salientar que o P é obtido através de rochas fosfáticas, uma fonte não renovável, e a previsão de esgotamento das jazidas já se torna um cenário não muito distante. Este cenário é bem preocupante, já que a utilização do fertilizante está inteiramente ligada com a segurança da alimentação global, visto que não há outro elemento químico que substitua o P na agricultura (PANTANO et al., 2016).

2.3 FÓSFORO

O P do solo encontra-se na forma orgânica (Po) e inorgânica (Pi), dependendo da natureza do composto a que está ligado. O Po é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (MARTINAZZO et al., 2007). Já o Pi pode ainda ser separado em duas partes. O P dos minerais primários e o P adsorvido a óxidos de Fe e Al da fração argila, precipitado com Fe, Al e Ca, e presente na solução do solo como fonte de P disponível para as plantas (ARAÚJO; MACHADO, 2006).

Praticamente todo o P que é absorvido pela raiz se movimenta no solo pelo processo de difusão, que permite aos íons fosfatados migrar da superfície da fase sólida do solo até a superfície das raízes, além do P que está prontamente disponível na solução do solo (PENATTI, 2013). Nos solos das Regiões Sul e Planalto do RS, a quantidade média estimada de P foi de respectivamente 57 e 53% nas formas orgânicas e 30 e 13% nas formas ativas inorgânicas (MACHADO; BRAUNER; VIANNA, 1993).

O P é crucial no metabolismo da planta, pois compõe a molécula de ATP (adenosina trifosfato), que é utilizada em todas as reações que necessitam de energia. Exerce também papel importante na fotossíntese, na respiração, no metabolismo de açúcares, na divisão celular, no alongamento das células e na expressão gênica. Com suprimento adequado, o P ainda promove o uso mais eficiente da água e, portanto, dos demais nutrientes (GUIMARÃES et al., 2011). É também componente estrutural dos ácidos nucleicos, fosfolipídios de membrana, assim como de muitas coenzimas, proteínas e substratos metabólicos (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Ainda, segundo Lopes (1998), o P cumpre papel importante no crescimento das raízes e com isso promove um desenvolvimento mais rápido e prematuro das plantas. Melhora a qualidade da semente tornando-se essencial para sua formação, e está ligado na transcrição do código genético de uma geração para outra. As limitações da disponibilidade do nutriente no início do ciclo vegetativo da planta podem causar restrições no seu desenvolvimento, condição da qual a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento do nutriente a níveis adequados.

Em resposta à deficiência de P, as plantas desenvolvem respostas adaptativas complexas como a modificação do sistema radicular e liberação de exsudados que incluem ácidos orgânicos e enzimas fosfatases que podem aumentar a aquisição de P pelas plantas (VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003). Há ainda plantas que respondem a deficiência de P se associando a micorrizas como alternativa para melhor adquirir o P, já outras melhoram sua habilidade em acumular o elemento (GRANT et al., 2001a). Todavia, a base genética da tolerância a baixo P em plantas pode variar entre e dentro de espécies, uma vez que diferentes estratégias ou mecanismos relacionados à tolerância a baixo P podem apresentar diferentes tipos de controle gênico (ALVES, 2018).

2.4 BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO

É sabido que um número considerável de espécies bacterianas, principalmente as associadas com a rizosfera das plantas, são capazes de exercer um efeito benéfico sobre o crescimento das plantas. As denominadas rizobactérias podem facilitar este crescimento diretamente auxiliando a planta na aquisição de recursos (nitrogênio, fósforo e minerais essenciais) ou modulando os níveis de hormônios vegetais, ou ainda indiretamente diminuindo os efeitos inibitórios de vários patógenos no crescimento e desenvolvimento das plantas nas formas de agentes de biocontrole (AHEMAD; KIBRET, 2014).

Os microrganismos utilizam diferentes mecanismos para transformar formas pouco solúveis de fosfato em solúveis. Conforme Arcand e Scheneider (2006), em plantas e microrganismos o mecanismo primário de solubilização de P se dá pela excreção de H^+ que resulta na diminuição do valor do pH; produção de ácidos orgânicos agindo como acidificantes do meio ou como agentes quelantes ou

complexantes; e biossíntese de enzimas fosfatases como fitases, nucleases e as fosfolipases que, através do processo de mineralização, tornam compostos orgânicos contendo P assimiláveis às plantas.

Embora várias bactérias solubilizantes de fosfato ocorram naturalmente no solo, geralmente seu número não é alto o suficiente para competir com outras bactérias comumente estabelecidas na rizosfera. Assim, a quantidade de P liberada por elas geralmente não é suficiente para um aumento substancial no crescimento das plantas. Portanto, a inoculação de sementes com um microrganismo alvo em uma concentração muito maior do que a normalmente encontrada no solo é necessária para tirar proveito da propriedade da solubilização do fosfato e aumentar o rendimento da planta (RODRÍGUEZ; FRAGA, 1999).

Entre os gêneros bacterianos com essa capacidade destacam-se os *Bacillus* (*B. subtilis*, *B. cereus*, *B. thuringiensis*, *B. pumilus*, *B. megaterium*, etc.) que desenvolveram diferentes mecanismos para melhorar o crescimento das plantas, aumentando a disponibilidade do nutriente (MEENA et al., 2016). Vários produtos à base de *Bacillus* já foram comercializados como pesticidas, fungicidas ou fertilizantes microbianos. Estes microrganismos possuem a capacidade de formação de endosporos, o que permite tolerar o pH ácido e a baixa temperatura do solo, característica crucial para ser usado como componente de biofertilizantes (WYCISZKIEWICZ; SAEID; CHOJNACKA, 2017).

Entretanto, uma colonização eficaz e o desempenho consistente de um inóculo é um processo bastante complexo. Devido a diversos fatores bióticos e abióticos a capacidade das rizobactérias do solo de promover efeitos positivos no crescimento das plantas pode ser prejudicada e, portanto, os efeitos da aplicação desses microrganismos podem ser variáveis.

A interação de rizobactérias com a planta hospedeira também é uma questão importante a ser levada em consideração em um processo de inoculação, pois esta é uma relação intrincada e interdependente envolvendo não apenas os dois parceiros, mas outros fatores da região da rizosfera (DUTTA; PODILE, 2010). Conforme Martinez-Viveros et al. (2010), o sucesso na inoculação é dependente tanto da sobrevivência dos microrganismos no solo, como da compatibilidade com a cultura na qual é inoculado, e da habilidade de interação com a microbiota indígena do solo além de fatores ambientais.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do estudo foi avaliar se a inoculação de sementes com *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* afeta positivamente o crescimento e desenvolvimento de plantas de soja e aumenta a solubilização de fósforo em diferentes solos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o efeito da inoculação com *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas de soja;

Analisar se a inoculação de sementes com *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* aumenta a solubilização do fósforo fixado ao solo e a eficiência de utilização do mesmo;

Verificar se o efeito da inoculação com *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* é alterado em diferentes tipos de solos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada na Depressão Central do Rio Grande do Sul, apresentando como coordenadas geográficas 53°48'42" (longitude oeste), 29°41'25" (latitude sul) e 95 m de altitude.

Os tratamentos foram constituídos por um fatorial 5 x 2 x 2 conforme a Tabela 1, sendo o delineamento experimental inteiramente casualizado com 4 repetições. Cada unidade experimental foi composta por três vasos, onde dois foram destinados às análises destrutivas do ensaio e um vaso de cada unidade experimental foi cultivado até o final do ciclo da cultura.

Os solos foram coletados de lavouras comerciais sendo uma do noroeste do estado do Rio Grande do Sul no interior do município de Santo Ângelo (Lat. 28°11'12,5"S; Long. 54°21'56,9"W) e em uma lavoura da depressão central, no interior do município de São Pedro do Sul (Lat. 29°40'53,8"S; Long. 54°25'52,8"W). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018b) o solo da região noroeste é classificado como Latossolo, e o da região da depressão central como Argissolo.

Antes da coleta dos solos foram realizadas análises químicas e físicas, sendo as amostragens realizadas em profundidade de 0-20 cm, conforme descrito em manual de adubação e calagem (CQFS-RS/SC, 2004a). Após a verificação das características requeridas para o ensaio (diferentes teores de argila e baixo teor de P), os solos foram então coletados, peneirados em malha de 1 cm² e homogeneizados. Nesse momento, procedeu-se a coleta de novas amostras de solos para o encaminhamento das análises químicas e físicas definitivas a serem utilizadas como base na interpretação da adubação e correção de pH dos solos. Em razão dos resultados foi realizada a aplicação de 6,6 g de calcário tipo filler somente no Argissolo.

Sequencialmente, os solos foram transferidos para vasos com capacidade de 5 litros e então preenchidos com 4,5 litros de solo. A adubação com K ocorreu em apenas um nível, sendo este de 100% do recomendado para cada solo. Em ambos os solos a dose utilizada foi de 50 mg.dm⁻³ de K₂O na forma de cloreto de potássio (KCl). Já a adubação com P ocorreu em níveis distintos de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da dose recomendada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo para

os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004b). O tratamento com a dose de 100% de P correspondeu então à dose total recomendada, e a 0% de P ao tratamento controle, sem aplicação de P. Como fonte de P foi utilizado o superfosfato triplo (46% de P e 10% de Ca) conforme a Tabela 2. A aplicação dos fertilizantes foi realizada nos vasos já preenchidos de solo em sulcos de 8 cm de profundidade. Para o cálculo da dose recomendada de K e P considerou-se uma expectativa de produtividade de 4200 kg.ha⁻¹.

Tabela 1 - Tratamentos utilizados no experimento. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamentos		Fatorial (Níveis de fósforo X Inoculante X tipo de solo)	
T-1	0% P*	Sem inoculante	Latossolo (argila siltosa)
T-2	25% P	Sem inoculante	Latossolo (argila siltosa)
T-3	50% P	Sem inoculante	Latossolo (argila siltosa)
T-4	75% P	Sem inoculante	Latossolo (argila siltosa)
T-5	100% P	Sem inoculante	Latossolo (argila siltosa)
T-6	0% P	Com inoculante	Latossolo (argila siltosa)
T-7	25% P	Com inoculante	Latossolo (argila siltosa)
T-8	50% P	Com inoculante	Latossolo (argila siltosa)
T-9	75% P	Com inoculante	Latossolo (argila siltosa)
T-10	100% P	Com inoculante	Latossolo (argila siltosa)
T-11	0% P	Sem inoculante	Argissolo (franco-arenoso)
T-12	25% P	Sem inoculante	Argissolo (franco-arenoso)
T-13	50% P	Sem inoculante	Argissolo (franco-arenoso)
T-14	75% P	Sem inoculante	Argissolo (franco-arenoso)
T-15	100% P	Sem inoculante	Argissolo (franco-arenoso)
T-16	0% P	Com inoculante	Argissolo (franco-arenoso)
T-17	25% P	Com inoculante	Argissolo (franco-arenoso)
T-18	50% P	Com inoculante	Argissolo (franco-arenoso)
T-19	75% P	Com inoculante	Argissolo (franco-arenoso)
T-20	100% P	Com inoculante	Argissolo (franco-arenoso)

* Percentual da dose recomendada de acordo com análise prévia do solo.

O método gravimétrico direto foi adotado para a determinação da Capacidade de retenção de água (CRA) de cada tipo de solo. Os valores foram calculados a partir do equivalente a 4,5 litros de solo, onde posteriormente foram submetidos à secagem em estufa (70 °C) até peso constante. Sequencialmente, os solos foram saturados com água e submetidos à drenagem por um período de 48 h tendo a superfície do solo coberta para evitar a evaporação, e então novamente à pesagem

dos vasos foi realizada (CASAROLI; VAN LIER, 2008). Assim, por diferença de peso obteve-se a capacidade de retenção de água de cada tipo de solo. Para determinação da CRA de 70% utilizou-se a seguinte fórmula (MELLO, 2006):

$$PV_{70\%} = (PV_{CRA} - PV_{seco}) * 0,70 + PV_{seco}$$

Onde:

PV_{CRA} é a capacidade de retenção de água do solo;

PV_{seco} é o peso do vaso preenchido com solo seco.

Efetou-se a irrigação dos vasos no preparo do solo para semeadura e procederam-se irrigações diárias de forma a manter o solo a 70% da CRA através de pesagens. Foram também cultivados 10 vasos extras para a coleta e pesagem de uma planta a cada 15 dias a fim de se descontar o peso da planta nas pesagens.

Tabela 2 - Doses de superfosfato triplo (SPT) utilizadas no experimento. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	Latossolo		Argissolo	
	P ₂ O ₅ (mg/dm ³)	SPT (mg/vaso)	P ₂ O ₅ (mg/dm ³)	SPT (mg/vaso)
0%	0	0	0	0
25%	12,8	125,9	11,6	113,7
50%	25,6	251,9	23,3	227,4
75%	38,5	377,8	34,9	341,2
100%	51,3	503,8	46,5	454,9

A semeadura do experimento foi realizada no mês de dezembro de 2020 de forma manual em sulcos de 3 cm de profundidade e utilizando-se quatro sementes por vaso. Aos 7 dias após a emergência foi efetuado o raleio das plântulas deixando-se apenas uma por vaso.

Para aumentar o processo natural de fixação biológica de nitrogênio (FBN), que ocorre em associações de plantas com bactérias, realizou-se a inoculação das sementes de soja com *Bradyrhizobium* em todos os tratamentos do ensaio. A inoculação com as BSP (bactérias solubilizadoras de fósforo) procedeu-se apenas nos tratamentos do ensaio que contemplavam a inoculação destas. Para isso, foi

utilizado o inoculante comercial BiomaPhos que contém as cepas de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*. Os tratamentos das sementes foram realizados separadamente através da agitação das sementes em sacos plásticos, sendo as doses utilizadas conforme recomendadas por cada fabricante. Aplicações de inseticidas e fungicidas foram realizadas durante a condução do experimento conforme necessidade.

As avaliações do experimento foram realizadas em estádios fenológicos específicos (V4, R2, R5 e R8) sendo estes determinados quando 50 % ou mais das plantas apresentavam-se neste estágio (RITCHIE; HANWAY; BENSON, 1993). Assim, para determinar o final de uma fase e o início de outra foi utilizado o sistema de classificação de estágio proposto por Fehr e Caviness (1997).

As avaliações de estatura das plantas foram realizadas em três estádios fenológicos (V4, R2 e R5) contemplando uma planta de cada unidade experimental. Estas foram medidas desde a superfície do solo até o ápice da planta com o auxílio de uma trena.

Os atributos fisiológicos relacionados ao aparato fotossintético também foram realizados quando as plantas encontravam-se em V4, R2 e R5, sendo determinadas as trocas gasosas das folhas por meio de um analisador de gás por radiação infravermelho [Infra red gas analyser (IRGA), Mod. Li-COR® 6400 XT] para a obtenção dos seguintes parâmetros: taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (Gs), concentração intercelular de CO₂ (Ci), eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci - obtida pela razão entre a taxa fotossintética e a concentração intercelular de CO₂), e eficiência de uso da água (EUA – obtida pela razão entre a taxa fotossintética e a taxa transpiratória). As medições foram realizadas durante o período das 08h:00 min e as 11h:00 min, sob condições de radiação fotossinteticamente ativa utilizando radiação de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e concentração de CO₂ de 400 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. A avaliação foi realizada em uma planta por repetição, e para minimizar os erros devido à oscilação ambiental optou-se por realizar as medições somente em três níveis (0%, 50% e 100% de P) a fim de diminuir o tempo de avaliação. Foi utilizado para a leitura o segundo trifólio completamente expandido da haste principal.

Para a análise da atividade da enzima fosfatase ácida foram coletadas raízes e folhas de uma planta de cada unidade experimental quando se encontravam em R2. O material coletado foi congelado em nitrogênio líquido e armazenado em

ultrafreezer -80 °C. As amostras foram homogeneizadas e após, centrifugadas a 20.000 x por 30 minutos e o sobrenadante resultante foi usado para o ensaio enzimático. A atividade da fosfatase ácida foi determinada de acordo com Tabaldi et al. (2007) em um meio de reação consistindo de 3,5 mM de azida sódica, 2,5 mM de cloreto de cálcio, 100 mM de tampão citrato (pH 5,5) em um volume final de 200 µL. Uma alíquota de 20 µL da preparação enzimática foi adicionada na mistura de reação, exceto nos controles, e pré-incubada por 10 min a 35 °C. A reação foi iniciada pela adição do substrato (PPi, na concentração final de 3,0 mM) e parada pela adição de 200 µL de TCA 10% em uma concentração final de 5%. O fosfato inorgânico (Pi) foi quantificado a 630 nm usando verde malaquita como reagente colorimétrico e KH_2PO_4 como padrão para a curva de calibração.

O mesmo material coletado para análise da fosfatase foi utilizado para análise de concentração de pigmentos (clorofila *a*, *b* e carotenoides). As amostras frescas de folhas (0,05 g), após serem maceradas foram incubadas em solvente DMSO (dimetilsulfóxido) na temperatura de 65 °C até a extração completa dos pigmentos, conforme método de Hiscox e Israelstam (1979). Com o auxílio de espectrofotômetro foram mensuradas as respectivas absorbâncias, utilizando comprimentos de onda de 663 nm para clorofila *a*, 645 nm para clorofila *b* e 470 nm para carotenoides, sendo os resultados estimados pela equação de Lichtenthaler (1987).

Os parâmetros morfológicos do sistema radicular e área foliar também foram mensurados em R2 utilizando-se uma planta por unidade experimental. Raízes foram separadas de parte aérea, lavadas em água corrente e água destilada, e envolvidas em papel *germitest* umedecido, sendo posteriormente armazenadas em freezer a temperatura de -20 °C. Utilizou-se uma amostra representativa de 10 % do peso fresco de raiz extraída no sentido do comprimento, ou seja, do ponto de surgimento das raízes adventícias, no colo da planta, até a extremidade do sistema radicular para a mensuração de comprimento, volume, área superficial, e diâmetro de raiz. As variáveis foram avaliadas pelo software WinRhizo Pro 2013, acoplado ao scanner EPSON Expression 11000.

Para a quantificação da área foliar as folhas foram distribuídas sobre pano azul com escala milimétrica e fotografadas com câmera digital. As imagens foram tratadas com ajuste de cor e contraste e submetidas para leitura no programa QUANT v 1.0.2.

Tanto raiz como parte aérea posteriormente foram ainda utilizadas para a determinação de massa seca. As amostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem massa constante e então foram pesadas em balança analítica.

Para determinação de P nos tecidos a massa seca foi moída, preparada e submetida à análise do elemento, segundo metodologia proposta por Tedesco, Gianello e Biassani (1995); sendo os dados utilizados para a determinação dos seguintes índices de eficiência para o P (SIDDIQI; GLASS, 1981):

a) eficiência de absorção do P (EA) = $(\mu\text{g de P acumulado na planta}) / (\text{mg de matéria seca de raízes})^{-1}$;

b) eficiência de utilização do P nas raízes (EUR) = $(\text{mg de matéria seca das raízes})^2 / (\mu\text{g de P acumulado nas raízes})^{-1}$;

c) eficiência de utilização do P na parte aérea (EUPPA) = $(\text{mg de matéria seca da parte aérea})^2 / (\mu\text{g de P acumulado na parte aérea})^{-1}$;

d) eficiência de utilização do P na planta (EUPP) = $(\text{mg de matéria seca total})^2 / (\mu\text{g de P acumulado na planta})^{-1}$.

Ao final do ciclo, em estádio R8, foi realizada a avaliação de produção. As vagens foram colhidas e debulhadas manualmente para a determinação do número e massa de grãos por planta, e também a massa de mil grãos. Após colheita, amostras de solo de cada tratamento foram coletadas, secas ao ar livre, e posteriormente moídas em moinho. As amostras de solo foram então encaminhadas para a avaliação do P residual através do método de Mehlich-1.

Também foi realizado o teste de envelhecimento acelerado das sementes (vigor) pelo método gerbox, de acordo com metodologia descrita por Marcos Filho (1999), onde as sementes foram distribuídas sobre tela de alumínio, fixada em caixa plástica de germinação (11x11x3,5cm), contendo 40 mL de água destilada. As caixas foram mantidas em câmara de envelhecimento acelerado em temperatura de 41 °C por um período de 48 h. Decorrido o período de exposição, às sementes foram submetidas ao teste de germinação em papel *germitest* com umidade de 2,5 vezes o peso do papel seco. Os rolos foram alocados em sacos plásticos e condicionados em B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*) com temperatura constante de 25 °C. A contagem das sementes foi realizada aos cinco dias após a germinação, de acordo com as regras para análises de sementes (BRASIL, 2009).

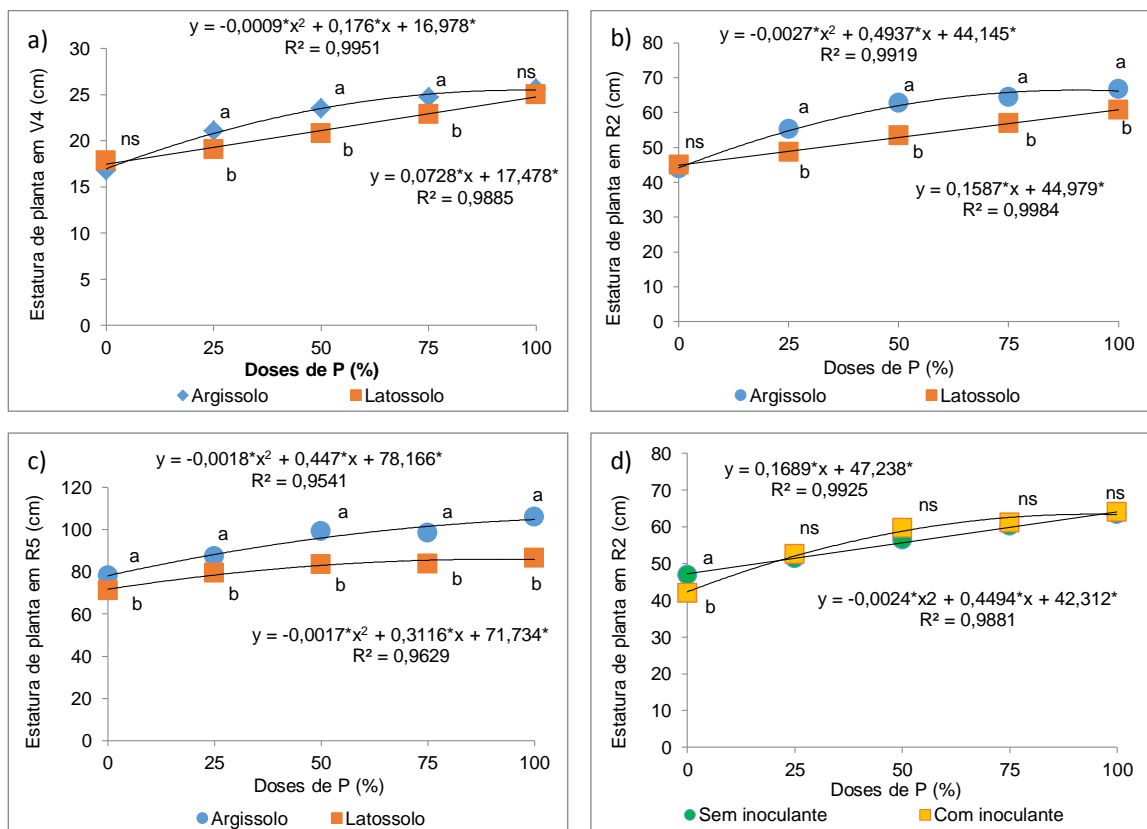
Os dados do experimento foram testados para homocedasticidade e normalidade dos resíduos e submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste F. Posteriormente, as médias dos tratamentos qualitativos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e as médias dos tratamentos quantitativos à análise de regressão usando o software R Studio utilizando o R versão 4.1.0- 2021.

5 RESULTADOS

5.1 ESTATURA DE PLANTAS (EP)

Os dados relativos à estatura de plantas (EP) no estágio V4 estão representados na Figura 1(a) e Tabela 3. A análise de variância demonstrou haver interação significativa entre os fatores tipos de solo e níveis de P (Apêndice A).

Figura 1 - Estatura de plantas (EP) de soja nos estádios V4 (a), R2 (b e d), R5 (c) em função da interação entre níveis de P e tipos de solos (a, b, c), e interação entre níveis de P e fator inoculante (d). Santa Maria/RS, 2022.



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; ns não significativo; C.V: 6,12% (a), 5,61% (b e d), 5,94% (c).

Para o Latossolo, a aplicação de níveis crescentes de P resultou em aumento linear da variável. Para o Argissolo foi observado um comportamento quadrático da EP, respondendo aos níveis de P inicialmente com um aumento e se estabilizando nos maiores níveis. Comparando-se os diferentes solos, valores significativamente

maiores de estatura de planta foram observados no Argissolo nos níveis de 25% a 75%.

Para a EP no estágio R2 houve interação significativa entre tipos de solo e níveis de P, e os fatores inoculante e níveis de P (Apêndice B). A resposta da variável em função dos níveis de P nos diferentes solos apresentou comportamento semelhante ao observado no estágio V4 (Figura 1b). No Latossolo foi observado crescimento linear enquanto no Argissolo o comportamento foi quadrático. A partir do nível 25% da dose recomendada de P, a EP foi significativamente maior no Argissolo.

Na interação níveis de P e inoculante a EP apresentou crescimento linear nos tratamentos que não contemplavam inoculação, e quadrático nos tratamentos com inoculação de bactérias solubilizadas de fósforo (BSP) (Figura 1d). Somente no nível 0% de P houve diferença significativa na estatura de plantas entre os tratamentos com e sem inoculante, sendo o maior valor observado na ausência de inoculação.

No estágio R5 foi observada interação significativa entre os fatores tipos de solo e níveis de P para EP (Apêndice C). Em ambos os solos houve um comportamento quadrático crescente da variável em decorrência dos níveis de P (Figura 1c). Assim como nos outros estádios, maiores valores de EP em função dos níveis fosfatados foram observados no Argissolo.

Não houve efeito significativo do fator inoculante sobre a estatura de plantas avaliada nos estádios V4 e R5 (Tabela 3).

Tabela 3 - Estatura de plantas (EP) de soja nos estádios V4 e R5 em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.

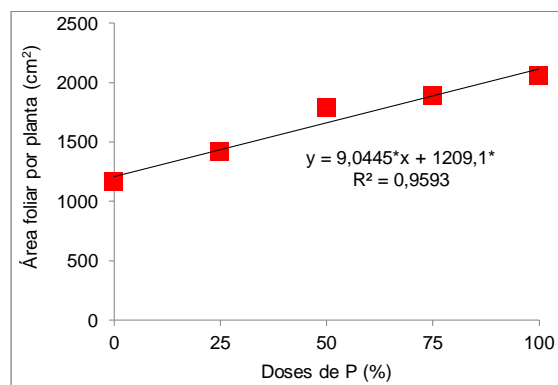
Tratamento	Estatura de planta V4 (cm)	Estatura de planta R5 (cm)
Sem Inoculante	21,5 ns	87,4 ns
Com Inoculante	22,0	87,3
C.V. (%)	6,12	5,94

ns: não significativo.

5.2 ÁREA FOLIAR (AF)

A análise de variância demonstrou não haver interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para a variável área foliar (AF) avaliada no estágio R2 (Apêndice D). A adubação fosfatada crescente resultou em aumento linear da AF das plantas, sendo 77,2% maior na dose total recomendada (100% de P) em relação a 0% (Figura 2).

Figura 2 - Área foliar (AF) por planta de soja em função de níveis de P. Santa Maria/RS, 2022.



*significativo a 5%; C.V.:17,5%.

As plantas dos tratamentos com Argissolo apresentaram valores de área foliar estatisticamente superiores em cerca de 15% aos observados no Latossolo, todavia não houve efeito significativo do fator inoculante para área foliar (Tabela 4).

Tabela 4 - Área foliar (AF) por planta de soja em função dos fatores tipos de solo e inoculante. Santa Maria/RS, 2022.

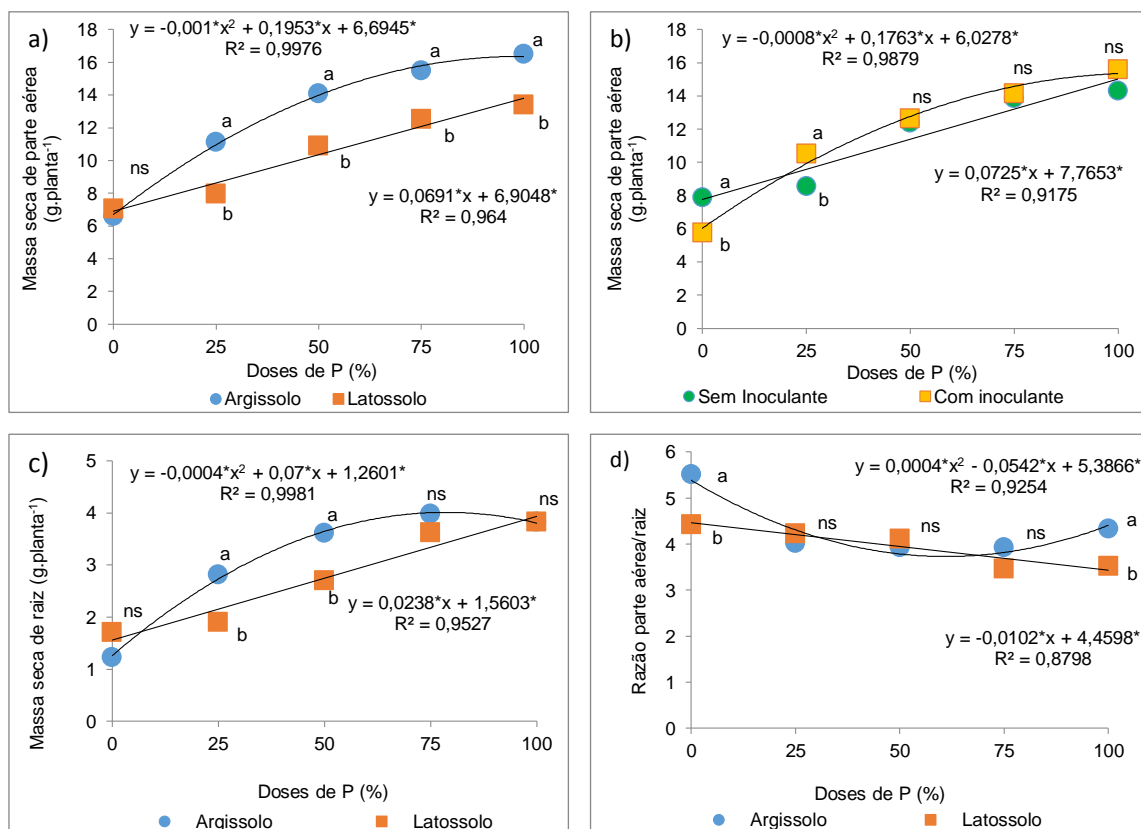
Tratamento	Área foliar (cm²)	Tratamento	Área foliar (cm²)
Latossolo	1544,8 b	Sem Inoculante	1666,9 ns
Argissolo	1777,9 a	Com Inoculante	1655,8
C.V. (%)	17,5	C.V. (%)	17,5

Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ns: não significativo.

5.3 MASSA SECA DE PARTE AÉREA (MSPA) E MASSA SECA DE RAIZ (MSR)

Pela análise de variância foi encontrada interação significativa entre tipos de solo e níveis de P, e entre os fatores inoculante e níveis de P para a massa seca de parte aérea (MSPA) (Apêndice E). A resposta desta variável mostra que para ambos os solos obteve-se valores crescentes em razão dos níveis de P (Figura 3a). Todavia, assim como nas avaliações de EP e AF, maiores valores de MSPA foram notados no Argissolo. Tal superioridade é observada em todos os níveis de P, exceto no nível 0% onde a diferença não foi significativa entre os solos.

Figura 3 - Massa seca de parte aérea (MSPA) (a, b), massa seca de raiz (MSR) (c) e razão parte aérea/raiz (d) de plantas de soja em função da interação de níveis de P e tipos de solos (a, c, d) e interação níveis de P e fator inoculante (b). Santa Maria/RS, 2022.



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; ns não significativo; C.V.: 16,88% (a e b), 20,06% (c), 12,87% (d).

Verifica-se que na interação dos fatores níveis de P e inoculante a MSPA apresenta crescimento linear nos tratamentos sem a presença do inoculante e

quadrático nos tratamentos com inoculação de bactérias solubilizadas de fósforo (Figura 3b). Apenas nos níveis 0% e 25% de P houve diferença significativa para a variável, sendo observado no nível 0% maior valor de MSPA na ausência de inoculante e no nível 25% o inverso, ou seja, maior valor na presença do mesmo.

Foi constatada interação significativa entre os fatores tipos de solo e níveis de P para a massa seca de raízes (MSR) (Apêndice F). Comportamento semelhante à MSPA foi observado para a MSR, com incremento da variável em função dos níveis de P em ambos os solos (Figura 3c). Nos níveis de 25% e 50% de P ocorreram maiores valores de MSR para o Argissolo, não existindo diferença significativa nos outros níveis. Não houve efeito significativo do fator inoculante para massa seca de raiz (Tabela 5).

Para análise de variância da razão parte aérea/raiz deste estudo foi encontrada interação significativa entre os fatores tipos de solo e níveis de P (Apêndice G). Na Figura 3d é apresentado o comportamento da variável onde é possível observar que no Latossolo o aumento dos níveis fosfatados resultou em uma redução linear na relação parte aérea/raiz das plantas, o que significa que houve um maior investimento em raiz em detrimento da parte aérea. No Argissolo, nota-se uma redução na relação de parte/raiz somente até o nível de 50% de fosfato, e posteriormente uma tendência de aumento na relação. Para o fator inoculante não houve efeito significativo para a variável (Tabela 5).

Tabela 5 - Massa seca de raiz (MSR) e razão parte aérea/raiz de plantas de soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.

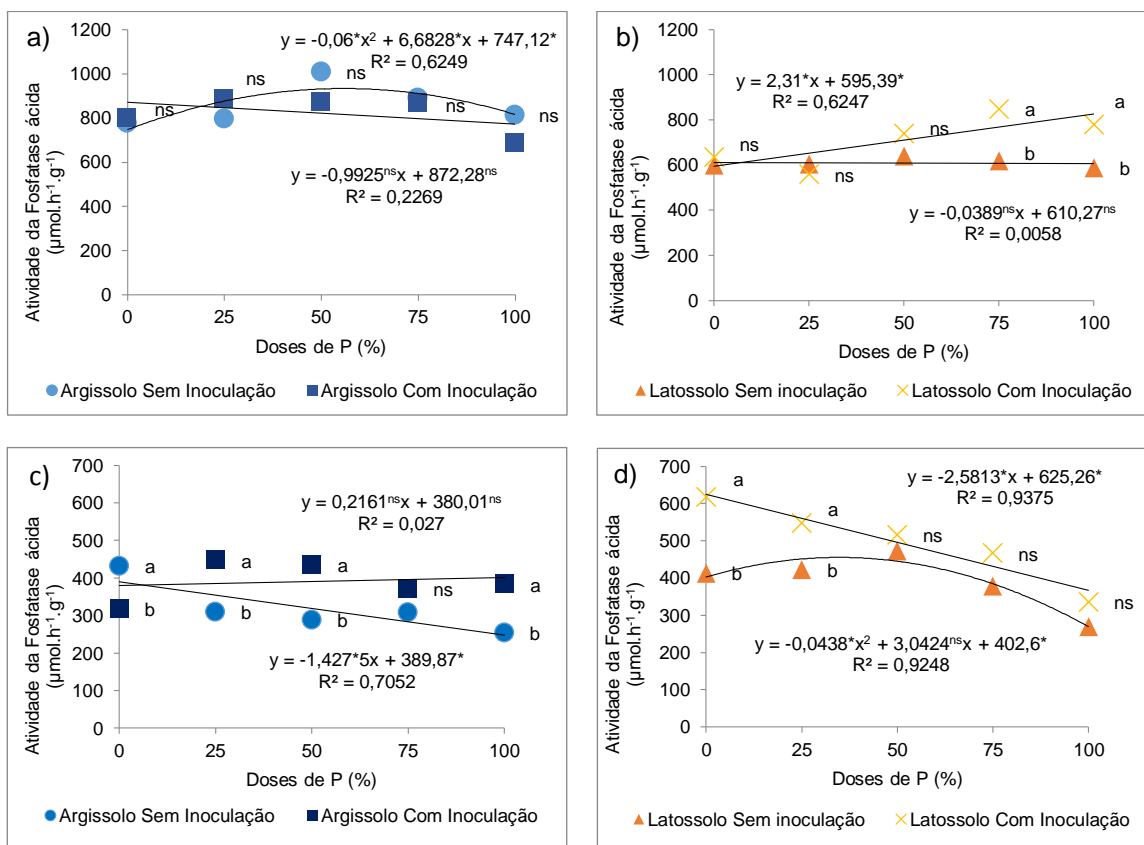
Tratamento	Massa seca raiz (g.planta ⁻¹)	Razão Parte aérea/raiz
Sem Inoculante	2,934 ns	4,07 ns
Com Inoculante	2,905	4,22
C.V. (%)	20,06	12,87

ns: não significativo

5.4 ATIVIDADE DA ENZIMA FOSFATASE ÁCIDA EM PARTE AÉREA (FAPA) E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA EM RAIZ (FAR)

Na Figura 4 (a e b) são apresentadas as equações de regressão que explicam a atividade da fosfatase ácida de parte aérea (FAPA) em função da interação tripla entre níveis de P, tipos de solo e fator inoculante (Apêndice H).

Figura 4 - Atividade da fosfatase ácida de parte aérea (FAPA) (a, b) e raiz (FAR) (c, d) de plantas de soja em função da interação de níveis de P, tipos de solos e fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: (a) 15,12%; (b) 19,0%.

Para o Argissolo na ausência do inoculante nota-se um modelo quadrático, onde a maior atividade de FAPA foi observada próximo ao nível 50% de P (Figura 4a). A presença do inoculante neste solo não mostrou efeito significativo na atividade da fosfatase conforme o aumento das doses de P. Para o Latossolo sem inoculante não houve efeito significativo dos níveis de P sobre os valores da

atividade da FAPA (Figura 4b); e na presença do inoculante o comportamento da variável foi linear, crescendo com o aumento dos níveis de P.

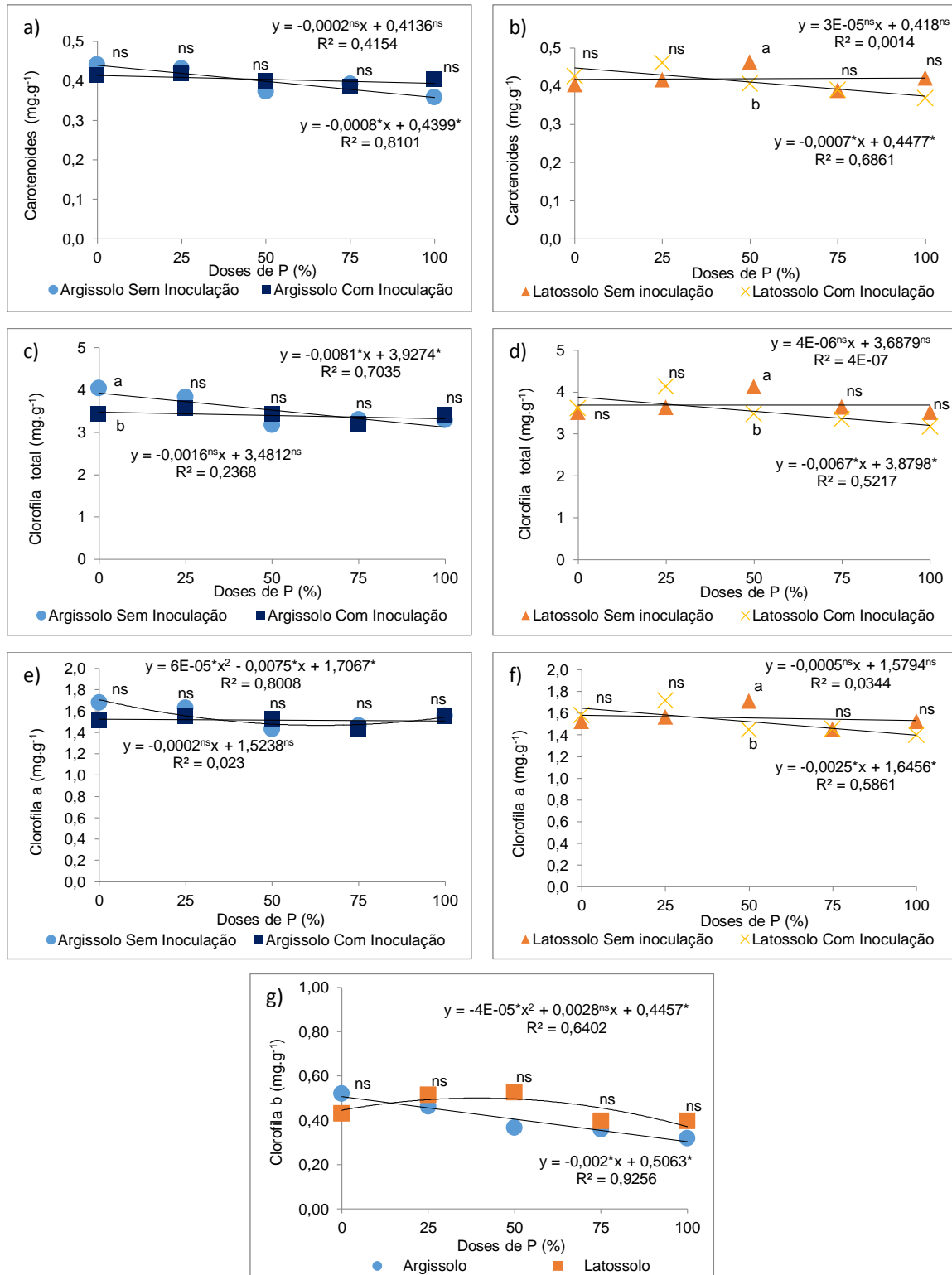
Interação tripla também foi observada entre níveis de P aplicados, tipos de solo e fator inoculante para a atividade da fosfatase ácida de raízes (FAR) (Apêndice I). Para o Argissolo com inoculante não foi observado efeito significativo dos níveis de P na atividade de FAR (Figura 4c). Por outro lado, na ausência do inoculante neste solo, houve um decréscimo linear nos valores desta variável em função do aumento das doses fosfatadas. No Latossolo a presença do inoculante resultou em queda dos valores da atividade da FAR em função da adubação fosfatada (Figura 4d); e na ausência do inoculante houve um comportamento quadrático da atividade da fosfatase com tendência de queda a partir do nível de 50% de P.

5.5 ANÁLISES DE PIGMENTOS FOTOSSINTETIZANTES: CAROTENOIDES (Carot), CLOROFILA TOTAL (Chl t), CLOROFILA *a* (Chl *a*) E CLOROFILA *b* (Chl *b*)

Os dados relativos às análises de pigmentos fotossintetizantes estão representados na Figura 5 e Tabela 6. A análise de variância demonstrou haver interação tripla significativa para o conteúdo de carotenoides (Carot) entre níveis de P aplicados, tipos de solo e fator inoculante (Apêndice J). Procedendo-se o desdobramento das interações entre os fatores, para o Argissolo na presença de inoculante não houve influência significativa dos níveis de P para Carot, enquanto na ausência de inoculante o incremento dos níveis fosfatados resultou em leve decréscimo linear para a variável (Figura 5a). Também, não ocorreu diferença significativa na comparação entre os tratamentos com e sem inoculante no Argissolo. No Latossolo somente houve efeito significativo dos níveis fosfatados para os tratamentos com inoculante (Figura 5b).

Foi encontrada interação significativa entre níveis de P, tipos de solo e fator inoculante para clorofilas totais (Chl t) (Apêndice K). Para o Argissolo com inoculante não houve efeito significativo dos níveis de P sobre a Chl t (Figura 5c). No tratamento sem inoculante a variável analisada apresentou leve redução linear com o incremento dos níveis de P. Apenas o nível 0% de P apresentou diferença significativa entre os tratamentos, sendo o sem inoculação o de maior valor.

Figura 5 - Carotenoides (Carot) (a e b), Clorofila total (Chl t) (c e d), Clorofila a (Chl a) (e, f) e Clorofila b (Chl b) (g) em plantas de soja em função da interação de níveis de P e tipos de solos (g) e da interação níveis de P, tipos de solo e fator inoculante (a, b, c, d, e, f). Santa Maria/RS, 2022.



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 9,43% (a e b), 11,86% (c e d), 8,65% (e, f) e 25,88% (g).

No Latossolo sem inoculação não houve efeito significativo para Chl *t* em função das doses de P, enquanto uma queda foi observada nos tratamentos que contemplavam a inoculação. Comparando-se os tratamentos somente no nível de 50% de P houve diferença estatisticamente significativa, sendo maior valor atribuído ao tratamento sem inoculante (Figura 5d).

Interação significativa foi observada entre níveis de P, tipos de solo e fator inoculante para a clorofila *a* (Chl *a*) (Apêndice L). Não houve efeito dos níveis de P sobre os valores de Chl *a* nos tratamentos com Argissolo que contemplavam a inoculação (Figura 5e). Enquanto isso, o Argissolo sem inoculante resultou em um comportamento quadrático de queda para a variável até o nível de 50% de P, com estabilidade em 75% e um leve aumento no último nível de 100% de P. Não houve diferença significativa entre os tratamentos sem e com o inoculante dentro das doses de P para o Argissolo. Para o Latossolo, os níveis de P não influenciaram significativamente o teor de Chl *a* na ausência de inoculação, enquanto, na presença do inoculante foi observada tendência de decréscimo linear dos valores da variável com o incremento das doses de P (Figura 5f). Entre os tratamentos, apenas no nível de 50% de P houve diferença estatisticamente significativa, sendo o maior valor observado no tratamento sem inoculante.

Interação significativa foi observada entre os fatores tipos de solo e níveis de P para a clorofila *b* (Chl *b*) (Apêndice M). Conforme a Figura 5g, no Argissolo foi observada uma queda linear acentuada de cerca de 38% na concentração de Chl *b* com o aumento dos níveis de P. No Latossolo verificou-se um comportamento quadrático para esta variável, com um leve aumento nos teores até próximo o nível de 50% de P e posteriormente queda com os maiores níveis de P.

Tabela 6 - Clorofila *b* (Chl *b*) em plantas de soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	Clorofila <i>b</i> (mg.g ⁻¹)
Sem Inoculante	0,433 ns
Com Inoculante	0,424
C.V. (%)	25,88

ns: não significativo

Não houve diferença significativa entre os tipos de solo para o teor de Chl *b*; e também não houve influência significativa do fator inoculante nos teores de Chl *b* (Tabela 6).

5.6 PRODUÇÃO DE GRÃOS POR PLANTA (PG), NÚMERO DE GRÃOS PRODUZIDOS POR PLANTA (NGP), PESO DE MIL GRÃOS (PMS) E VIGOR DE SEMENTES (VS)

Não ocorreu interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para a variável produção de grãos (PG) (Apêndice N). A adubação fosfatada crescente resultou em aumento quadrático da variável, onde no nível fosfatado de 100% a PG foi 23,7% superior ao tratamento sem adição de P (Figura 6a). Verifica-se também que a PG por planta nos tratamentos com Argissolo foi estatisticamente superior à produção dos tratamentos com Latossolo (Tabela 7). Não houve efeito significativo do fator inoculante sobre a PG (Tabela 8).

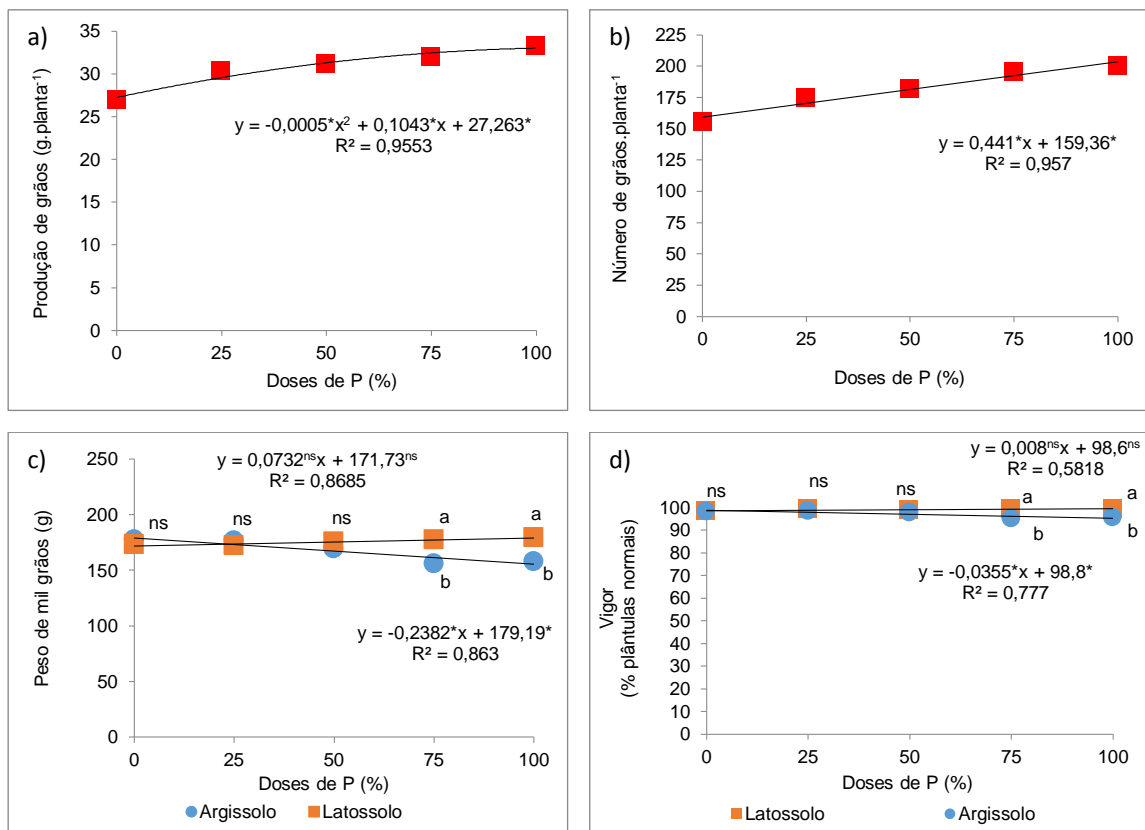
Os dados demonstram não haver interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para a variável número de grãos por planta (NGP) (Apêndice O). Os níveis de P aplicados resultaram em um incremento linear no NGP, sendo 28,8% maior no nível de 100% de P em relação ao nível 0% (Figura 7b). Verificou-se que o tratamento com Argissolo foi superior em NGP comparado ao tratamento no Latossolo (Tabela 7). Não houve efeito significativo do fator inoculante sobre NGP (Tabela 8).

Foi encontrada interação significativa entre os fatores tipos de solo e níveis de P para o peso de mil grãos (PMG) (Apêndice P). Não houve resposta significativa das aplicações fosfatadas sobre o PMG no Latossolo (Figura 6c). Mas para o Argissolo leve redução dos valores da variável foi observada com o acréscimo dos níveis de P. Comparando-se os diferentes solos, diferença significativa foi observada apenas nos níveis fosfatados de 75% e 100%, sendo constatados maiores valores de PMG para o Latossolo. Não houve efeito significativo do fator inoculante sobre o PMG (Tabela 8).

A análise de variância para vigor de sementes (VS) demonstrou haver interação significativa entre os fatores tipos de solo e níveis de P (Apêndice Q). Para os tratamentos com Latossolo não houve efeito estatisticamente significativo dos níveis de P para a variável VS (Figura 6 d). Todavia, uma pequena queda nos

valores de VS foi observada com o aumento dos níveis de P para os tratamentos com Argissolo. A partir do nível 75% de P foram verificados maiores valores de VS para os tratamentos com Latossolo comparado aos tratamentos com Argissolo. Não houve efeito significativo do fator inoculante sobre o VS (Tabela 8).

Figura 6 - Produção de grãos por planta (PG) (a), número de grãos por planta (NGP) (b) peso de mil grãos (PMG) (c) e vigor de sementes (VS) (d) de soja em função de níveis de P (a e b) e da interação de níveis de P e tipos de solos (c e d). Santa Maria/RS, 2022.



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 6,01% (a), 11,21%. (b), 6,82% (c), 1,43% (d).

Tabela 7 - Número de grãos (NGP) e produção de grãos (PG) de plantas soja em função dos tipos de solos. Santa Maria/RS, 2022.

Treatamento	Número de grãos (grãos.planta ⁻¹)	Produção (g.planta ⁻¹)
Latossolo	158,6 b	27,8 b
Argissolo	204,3 a	33,7 a
C.V. (%)	11,21	6,01

Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 8 - Número de grãos (NGP), produção de grãos (PG), peso de mil grãos (PMG) e vigor de sementes (VS) de plantas de soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	Número de grãos (grãos.planta ⁻¹)	Produção (g.planta ⁻¹)	PMG (g)	Vigor de sementes (%)
Sem Inoculante	183,8 ns	30,9 ns	169,8 ns	96,8 ns
Com Inoculante	179,1	30,6	172,8	97,9
C.V. (%)	11,21	6,01	6,82	4,47

ns: não significativo

5.7 ATRIBUTOS FOTOSSINTÉTICOS: TAXA DE ASSIMILAÇÃO LÍQUIDA DE CO₂ (A), TAXA TRANSPIRATÓRIA (E), CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (GS), CONCENTRAÇÃO INTERCELULAR DE CO₂ (CI), EFICIÊNCIA DE CARBOXILAÇÃO INSTANTÂNEA DA RUBISCO (A/CI), EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA (EUA)

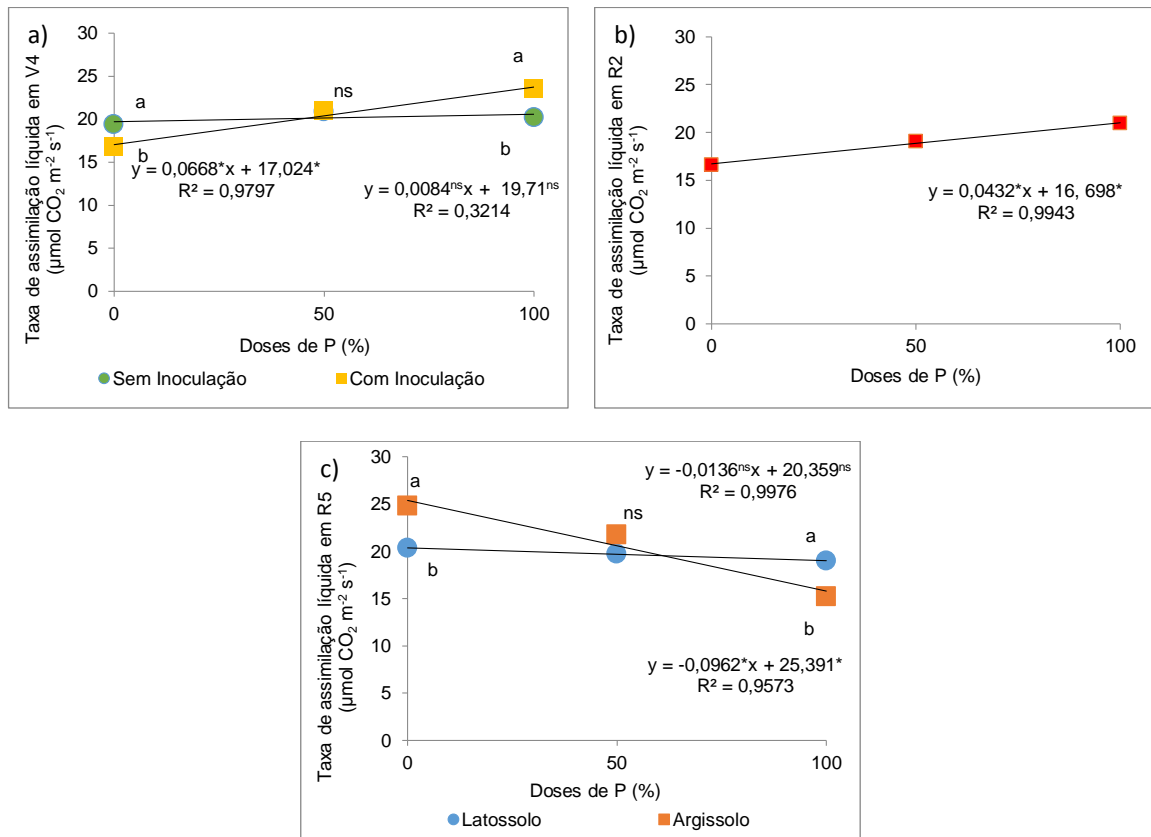
Pela análise de variância foi verificada interação significativa para a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) entre os fatores níveis de P e inoculante no estágio V4 (Apêndice R). Os tratamentos com inoculante apresentaram aumento significativo da variável em função dos níveis fosfatados (Figura 7a). Por outro lado para os tratamentos sem inoculante não houve efeito dos níveis de P. Não foi verificado efeito do tipo de solo para a variável taxa de assimilação líquida de CO₂ em V4 (Tabela 9).

Não ocorreu interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para a variável taxa de assimilação líquida de CO₂ avaliada em R2 (Apêndice S). A adubação fosfatada resultou em aumento linear da taxa de assimilação líquida de CO₂ das plantas do nível 0% de adição de P para o nível 100% de adição de P (Figura 7b). Analisando a interação entre os fatores tipo de solo e inoculante, verificou-se maior valor da variável quando utilizado o inoculante no tratamento com Argissolo (Tabela 13).

Em R5 verificou-se interação significativa para a variável taxa de assimilação líquida de CO₂ entre os fatores tipos de solo e níveis de P (Apêndice T). Comportamento de queda da variável conforme aumento dos níveis de P foi observado para o Argissolo (Figura 7c). Para os tratamentos com Latossolo não

houve efeito significativo dos níveis de P. Também não houve efeito da presença do inoculante sobre a variável avaliada no estádio R5.

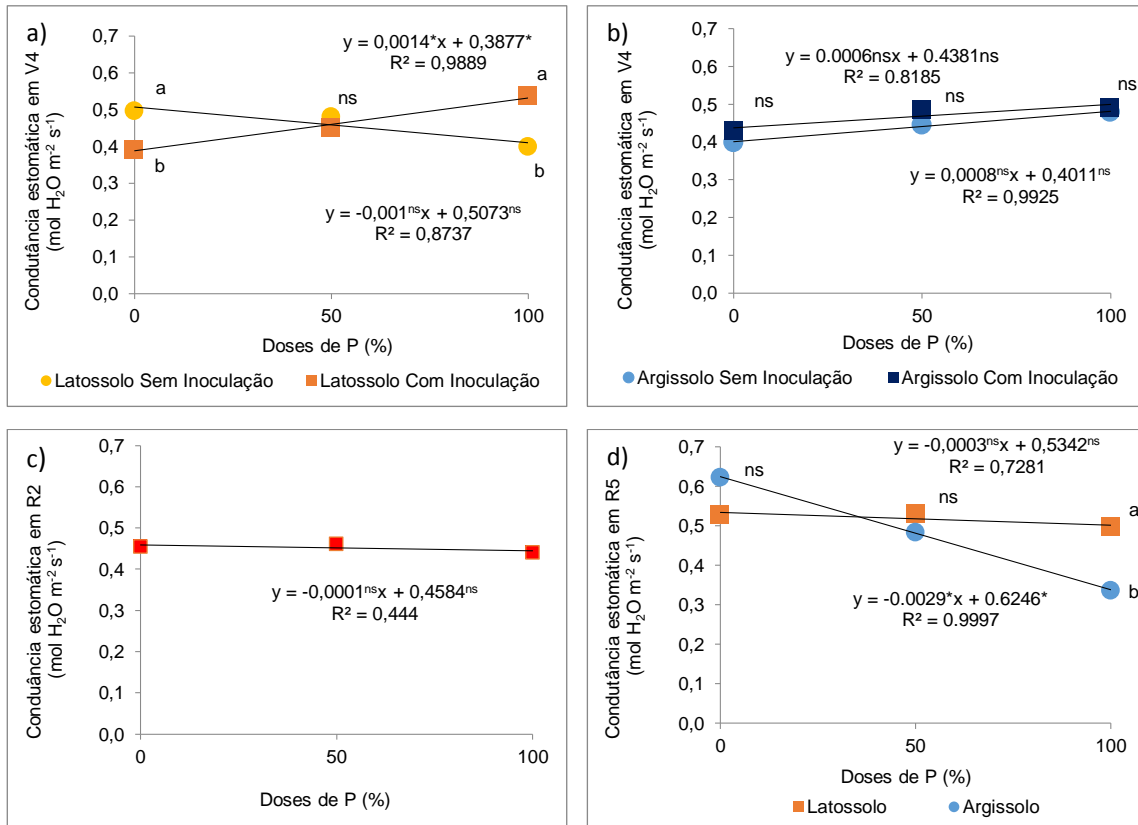
Figura 7 - Taxa de assimilação líquida (A) de plantas de soja nos estádios V4 (a), R2 (b) e R5 (c) em função de níveis de P (b), e das interações entre níveis de P e fator inoculante (a) e níveis de P e tipos de solo (c). Santa Maria/RS, 2022.



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 7,71% (a), 8,91% (b) e 12,97% (c).

Interação tripla significativa foi encontrada para condutância estomática (Gs) entre níveis de P aplicados, tipos de solo e fator inoculante em estádio V4 (Apêndice U). Os tratamentos com Latossolo demonstraram aumento da condutância estomática em função dos níveis de P na presença de inoculação (Figura 8a). Por outro lado, quando na ausência de inoculação, não houve efeito significativo dos níveis de P. O mesmo ocorreu para o Argissolo, no qual independentemente da presença ou ausência de inoculante não foram observados efeitos dos níveis de P sobre a condutância estomática (Figura 8b).

Figura 8 - Condutância estomática (Gs) de plantas de soja nos estádios V4 (a e b), R2 (c) e R5 (d) em função de níveis de P (c) e das interações entre níveis de P e tipos de solos (d) e níveis de P, tipos de solo e fator inoculante (a e b). Santa Maria/RS, 2022.



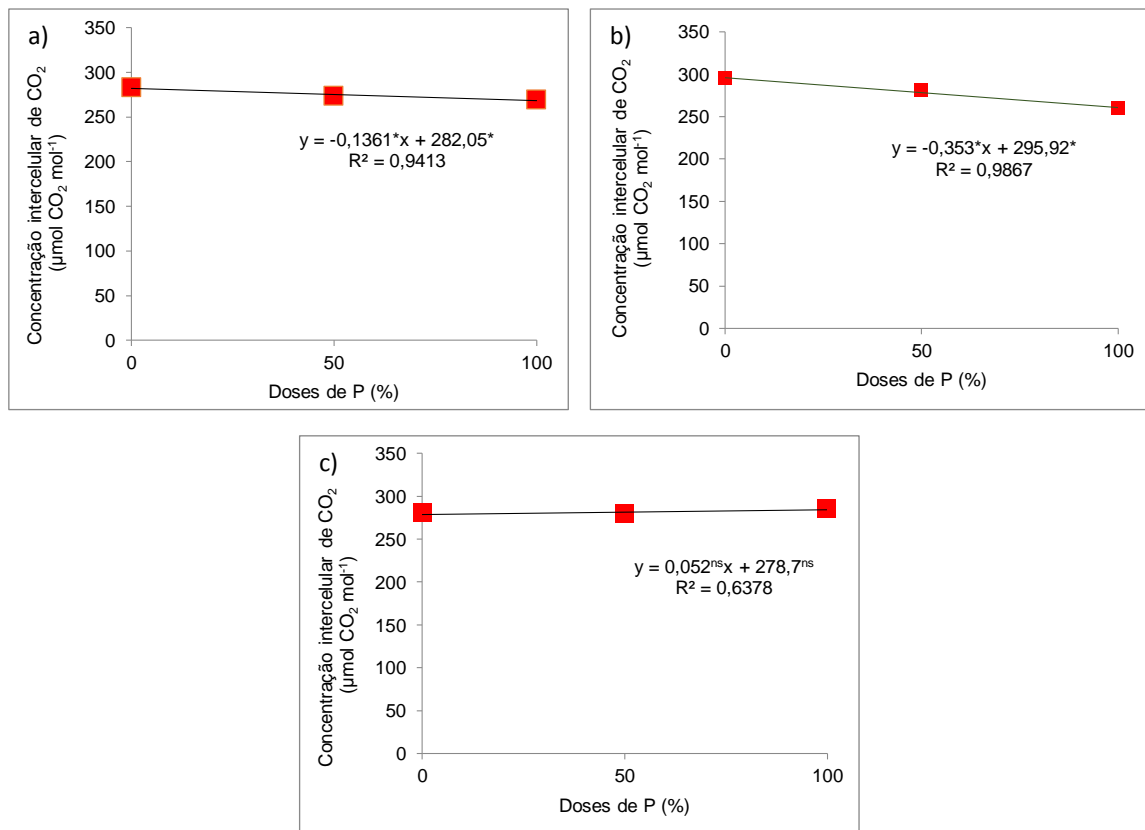
Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 12,13% (a e b), 18,56%(c), 18,02% (d).

No estágio R2 não ocorreu interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para a variável condutância estomática (Apêndice V). O aumento crescente dos níveis de P não teve influência sobre a variável (Figura 8c). Além disso, também não houve efeito do tipo de solo e presença do inoculante sobre a condutância estomática (Tabelas 11 e 12).

Em R5 a análise de variância demonstrou haver interação significativa para a variável condutância estomática entre os fatores tipos de solo e níveis de P (Apêndice W). Os tratamentos com Argissolo apresentaram uma queda linear significativa para a variável em função das doses fosfatadas. Para os tratamentos com Latossolo não houve efeito significativo dos níveis de P (Figura 8d). Além disso, não houve efeito do inoculante sobre a variável (Tabela 14).

Não foi observada interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para a variável concentração intercelular de CO₂ (Ci) avaliada nos estádios V4 (Apêndice X), R2 (Apêndice Y) e R5 (Apêndice Z).

Figura 9 - Concentração intercelular de CO₂ (Ci) em plantas de soja nos estádios V4 (a) R2 (b) e R5 (c) em função de níveis de P. Santa Maria/RS, 2022.

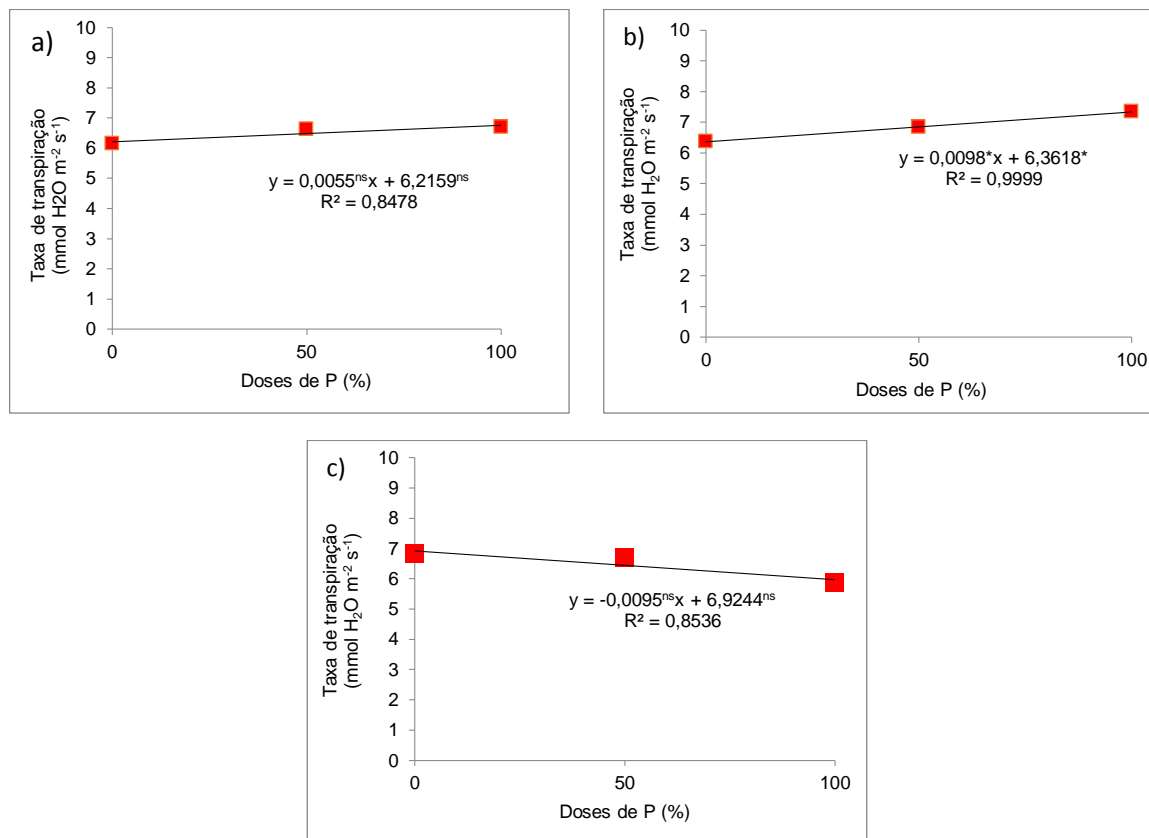


Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 4,02% (a), 10,29% (b), 4,43% (c).

Comportamento de leve queda da concentração intercelular de CO₂ foi observado em razão dos níveis fosfatados nos estádios V4 e R2 (Figura 9). Por outro lado, no estádio R5 os níveis de P não apresentaram influência sobre a concentração intercelular de CO₂ das plantas de soja. Também, não foi observada influência dos fatores solo e inoculante em V4 (Tabelas 9 e 10) e em R2 (Tabelas 11 e 12) e do fator inoculante em R5 (Tabela 14). Neste estádio, entretanto, foi observada maior concentração intercelular de CO₂ para o Latossolo (Tabela 15).

Também não ocorreu interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para a variável taxa transpiratória (E) avaliada nos estádios V4 (Apêndice AA), R2 (Apêndice AB) e R5 (Apêndice AC).

Figura 10 - Taxa de transpiração (E) em plantas de soja nos estádios V4 (a) R2 (b) e R5 (c) em função de níveis de P. Santa Maria/RS, 2022.



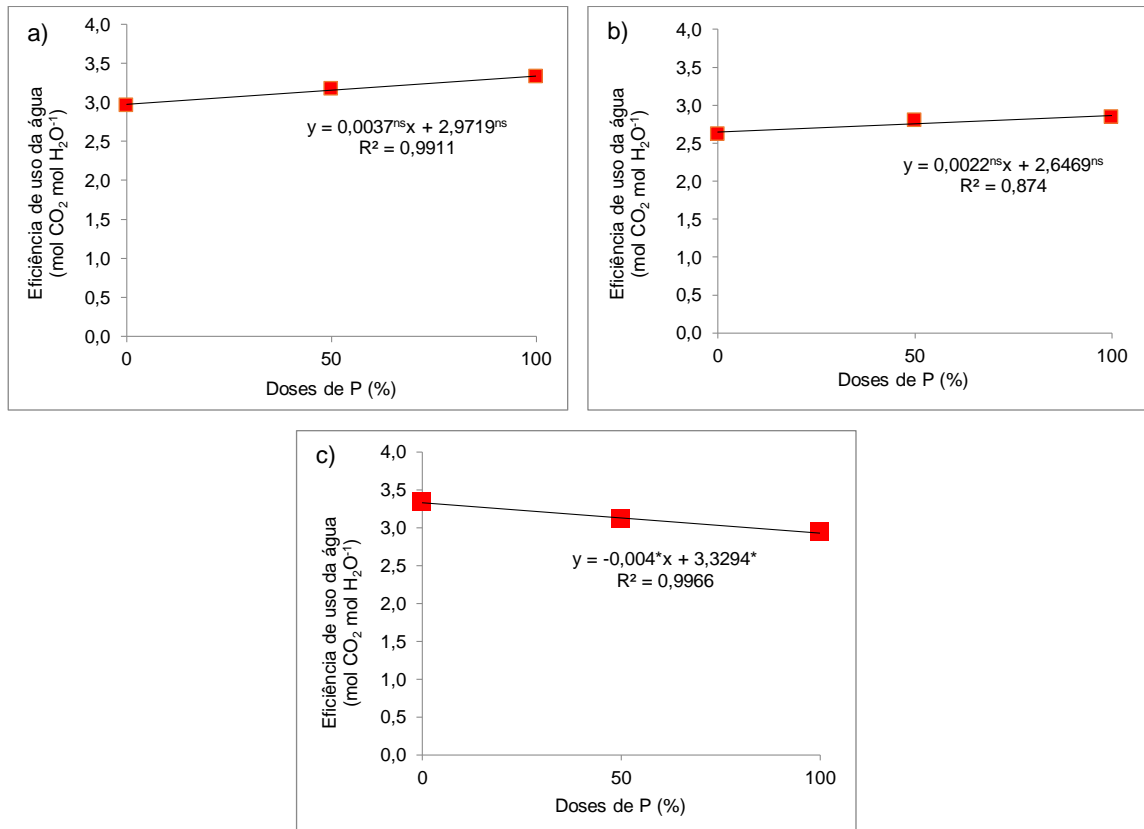
Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 13,87% (a) 9,58% (b), 16,27% (c).

Os níveis crescentes de fosfato resultaram em um leve aumento da taxa transpiratória quando analisadas em R2, enquanto para as avaliações realizadas em V4 e R5 não foi observada influência dos níveis de P sobre esta variável (Figura 10). Não houve efeito do tipo de solo sobre a taxa transpiratória em V4 e R5 (Tabelas 9 e 15). Entretanto, no estádio R2 maior valor da taxa transpiratória foi observado no Argissolo (Tabela 11). Além disso, não houve efeito do fator inoculante sobre a taxa transpiratória nas avaliações realizadas (Tabelas 10 e 14), a exceção do estádio R2 onde foi observado maior valor da variável no tratamento com inoculante (Tabela 12).

A ANOVA demonstrou não haver interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para a variável eficiência do uso de água (EUA) nos estádios V4, R2 e R5 (Apêndices AD, AE e AF). Não houve influência dos níveis de P sobre esta variável em V4 e R2 (Figura 11). Todavia, em R5 foi observada leve

redução da EUA com os níveis crescentes de P. Não houve influência do tipo de solo sobre a variável em V4, R2 e R5 (Tabelas 9, 11 e 14), tampouco do fator inoculante nos mesmos estádios de avaliação (Tabelas 10, 12 e 15).

Figura 11- Eficiência de uso da água (EUA) em plantas de soja nos estádios V4 (a), R2 (b) e R5 (c) em função de níveis de P. Santa Maria/RS, 2022.



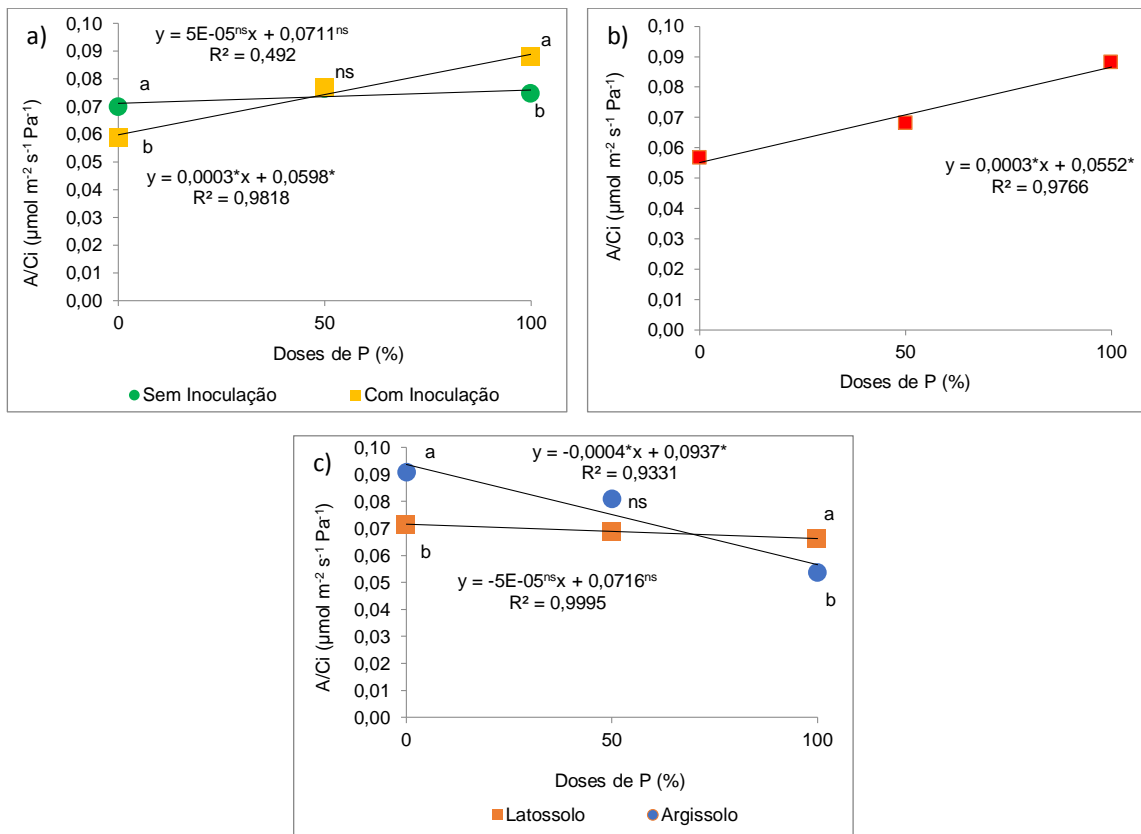
Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 9,45% (a), 11,68% (b).

Para a variável eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci) somente foi verificada interação significativa entre níveis de P e fator inoculante no estádio V4 (Apêndice AG) e entre níveis de P e tipo de solo no estádio R5 (Apêndice AI). Não foi observada interação entre os fatores para a A/Ci avaliada em R2 (Apêndice AH). Em V4, os tratamentos com inoculante apresentaram aumento significativo da variável em função dos níveis de P (Figura 12a), entretanto para os tratamentos sem inoculante não houve efeito. Não foi observado efeito do fator solo sobre a variável A/Ci em V4 (Tabela 9).

A adubação fosfatada crescente resultou em aumento linear significativo da carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci) (Figura 12b). Neste mesmo momento de

avaliação não foi observado efeito dos fatores tipo de solo e inoculante sobre a A/Ci (Tabelas 11 e 12). Por outro lado, em R5, somente houve efeito significativo dos níveis de P nos tratamentos com Argissolo, onde houve tendência de redução da A/Ci com o aumento dos níveis do nutriente (Figura 12c). Não foi observado efeito significativo da presença do inoculante sobre a carboxilação instantânea da Rubisco das plantas em R5 (Tabela 14).

Figura 12 - Eficiência instantânea de carboxilação pela Rubisco (A/Ci) em plantas de soja nos estádios V4 (a), R2 (b) e R5 (c) em função de níveis de P (b) e das interações níveis de P e inoculante (a) e níveis de P e tipos de solo (c). Santa Maria/RS, 2022.



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 10,48% (a), 35,1% (b), 16,42% (c).

Tabela 9 - Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), concentração intercelular de CO₂ (Ci), taxa transpiratória (E), eficiência de uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci) em função dos tipos de solo avaliados em estádio V4. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Ci ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	EUA ($\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$)	A/Ci ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$)
Latossolo	20,11 ns	276,94 ns	6,20 ns	3,28 ns	0,0730 ns
Argissolo	20,38	273,55	6,78	3,03	0,0749
C.V. (%)	7,71	4,02	13,87	13,95	10,48

ns: não significativo.

Tabela 10 - Concentração intercelular de CO₂ (Ci), taxa transpiratória (E) e eficiência de uso da água (EUA) em função do fator inoculante avaliados no estádio V4. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	Ci ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	EUA ($\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$)
Sem Inoculante	274,61 ns	6,32 ns	3,26 ns
Com Inoculante	275,88	6,66	3,06
C.V. (%)	4,02	13,87	13,95

ns: não significativo

Tabela 11 - Condutância estomática (Gs), concentração intercelular de CO₂ (Ci), taxa transpiratória (E), eficiência de uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci) em função dos tipos de solo avaliados no estádio R2. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	Gs ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Ci ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	EUA ($\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$)	A/Ci ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$)
Latossolo	0,452 ns	285,5 ns	6,63 b	2,75 ns	0,0639 ns
Argissolo	0,451	271,04	7,08 a	2,76	0,0780
C.V. (%)	18,56	10,29	9,58	9,45	35,1

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), ns: não significativo.

Tabela 12 - Condutância estomática (Gs), concentração intercelular de CO₂ (Ci), taxa transpiratória (E), eficiência de uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci) em função do fator inoculante avaliados em estádio R2. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	Gs (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	Ci (μmol CO ₂ mol ⁻¹)	E (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	EUA (mol CO ₂ mol H ₂ O ⁻¹)	A/Ci (μmol m ⁻² s ⁻¹ Pa ⁻¹)
Sem Inoculante	0,475 ns	282,88 ns	6,53 b	2,76 ns	0,0639 ns
Com Inoculante	0,428	273,66	7,18 a	2,75	0,0780
C.V. (%)	18,56	10,29	9,58	9,45	35,1

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05), ns: não significativo.

Tabela 13 - Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) em função dos tipos de solo e fator inoculante avaliados em estádio R2. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	A (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	
	Latossolo	Argissolo
Sem Inoculante	17,76 Aa	18,092 Ab
Com Inoculante	18,46 Ba	21,118 Aa
C.V. (%)	8,91	

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 14 - Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), Condutância estomática (Gs), concentração intercelular de CO₂ (Ci), taxa transpiratória (E), eficiência de uso da água (EUA) e eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/Ci) em função do fator inoculante avaliados em estádio R5. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	A (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Gs (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	Ci (μmol CO ₂ mol ⁻¹)	E (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	EUA (mol CO ₂ mol H ₂ O ⁻¹)	A/Ci (μmol m ⁻² s ⁻¹ Pa ⁻¹)
Sem inoculante	19,39 ns	0,492 ns	285,11 ns	6,27 ns	3,11 ns	0,069 ns
Com inoculante	20,86	0,507	277,48	6,62	3,16	0,076
C.V.(%)	12,97	18,02	4,43	16,27	11,68	16,42

ns: não significativo.

Tabela 15 - Concentração intercelular de CO₂ (Ci), taxa transpiratória (E) e eficiência de uso da água (EUA) de plantas de soja em função dos tipos de solo avaliados no estádio R5. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	Ci ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	EUA ($\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$)
Latossolo	287,0 a	6,42 ns	3,10 ns
Argissolo	275,6 b	6,48	3,16
C.V. (%)	4,43	16,27	11,68

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), ns: não significativo.

5.8 PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DO SISTEMA RADICULAR: COMPRIMENTO DE RAIZ (CR), ÁREA DE RAIZ (AR), VOLUME DE RAIZ (VR), E DIÂMETRO DE RAIZ (DR)

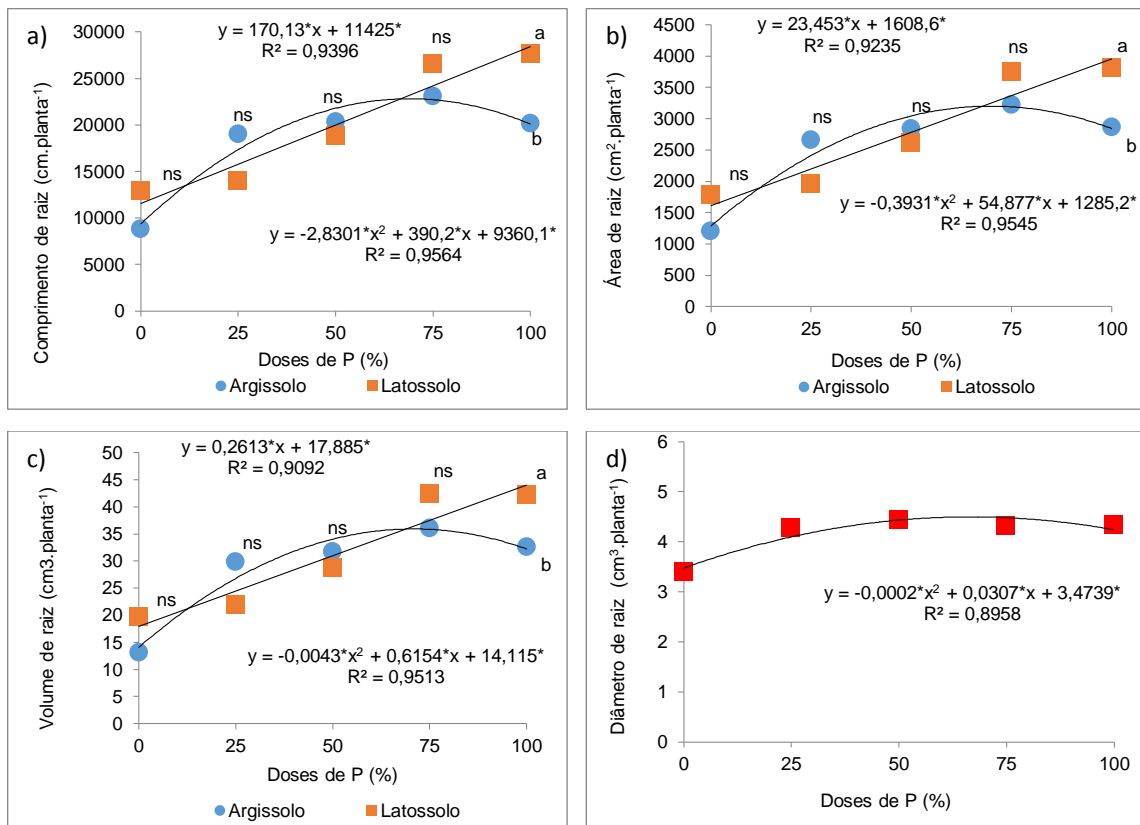
Interação significativa foi encontrada entre os fatores tipos de solo e níveis de P para o comprimento de raízes (CR) (Apêndice AJ). Para o Latossolo verificou-se um aumento linear do CR em função da aplicação dos níveis crescentes de P (Figura 13a). No Argissolo também houve um aumento do CR com o incremento dos níveis de P, porém, o comportamento foi quadrático com aumento somente até o nível de 75% de P. Apenas no nível 100% de P foi observada diferença estatisticamente significativa para o fator solo, onde o Latossolo resultou em maior valor de CR.

Interação significativa também foi observada entre os fatores tipos de solo e níveis de P para área de raízes (AR) (Apêndice AK). No Latossolo ocorreu incremento linear da variável conforme o acréscimo dos níveis de P (Figura 13b); e no Argissolo o aumento da AR ocorreu de forma quadrática até o nível fosfatado de 75%, comportamento bem semelhante ao observado em CR. Comparando-se os tipos de solo, apenas no nível 100% de P houve diferença significativa, sendo o maior valor de AR também atribuído para o Latossolo.

A exemplo do observado para as variáveis CR e AR, a ANOVA demonstrou haver interação significativa entre os fatores tipo de solo e níveis de P para o volume de raízes (VR) (Apêndice AL). Os resultados de VR seguiram o mesmo comportamento observado das variáveis CR e VR, com os níveis crescentes de P levando ao aumento linear da variável nos tratamentos com Latossolo e crescimento

quadrático no Argissolo (Figura 13c). Diferença significativa entre os solos também foi observada somente no nível de P de 100%.

Figura 13 - Comprimento (a), área (b), volume (c) e diâmetro (d) de raízes de plantas de soja em função de níveis de P (d) e da interação de níveis de P e tipos de solos (a, b, c). Santa Maria/RS, 2022.



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 27,08% (a), 26,4% (b), 26,76% (c), e 14,44% (d).

Não foi encontrada interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para a variável diâmetro de raízes (DR) (Apêndice AM). O diâmetro radicular aumentou com as doses de fósforo, ajustando-se a uma função quadrática, e atingindo o seu valor máximo próximo ao nível 75% de P (Figura 13d).

Não foi constatado efeito significativo do fator tipos de solo para a variável diâmetro de raiz (Tabela 16), nem do fator inoculante para as variáveis comprimento, área, volume e diâmetro de raiz (Tabela 17).

Tabela 16 - Diâmetro de raiz de plantas de soja em função dos tipos de solos. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	Diâmetro de raiz (mm)
Latossolo	4,16 ns
Argiloso	4,13
C.V. (%)	14,44

ns: não significativo

Tabela 17 - Comprimento de raiz, área de raiz, volume de raiz e diâmetro de raiz de plantas de soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	Comprimento de raiz (cm)	Área de raiz (cm ²)	Volume de raiz (cm ³)	Diâmetro de raiz (mm)
Sem Inoculante	19024,8 ns	2646,8 ns	29,5 ns	4,18 ns
Com Inoculante	19211,7	2689,4	30,1	4,11
C.V. (%)	27,08	26,4	26,76	14,44

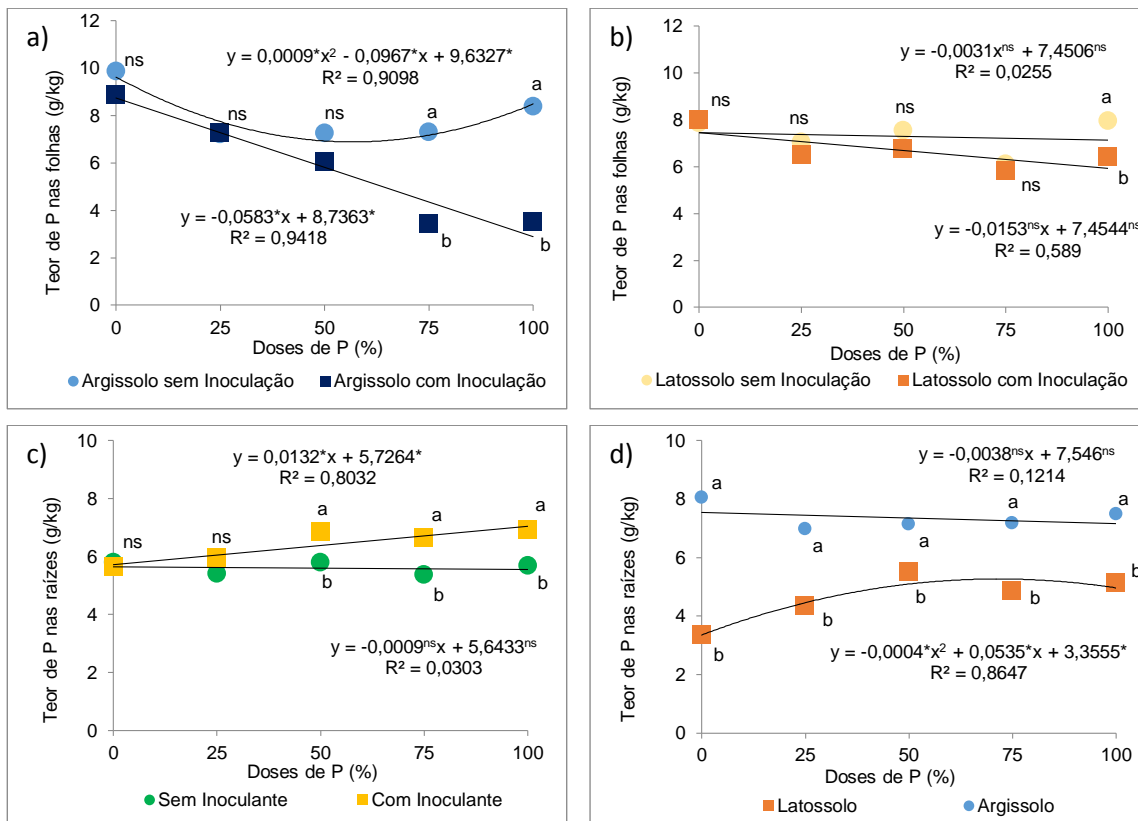
ns: não significativo

5.9 TEOR DE P NA PLANTA

Na Figura 14 (a e b) são apresentadas as equações de regressão que demonstram o teor de P nas folhas em função da interação tripla entre níveis de P, tipos de solo e fator inoculante (Apêndice AN). Para o Argissolo na ausência do inoculante observou-se uma resposta quadrática, onde o teor de P nas folhas apresentou queda até o nível fosfatado de 50% e a partir do nível de 75% de P foi observado aumento da variável. Ainda para o Argissolo, na presença do inoculante, foi observada uma queda linear acentuada do teor de P das folhas em função do aumento dos níveis de P. Redução de 60,4% no teor de P nas folhas do tratamento com nível de 100% de P em relação ao nível de 0% foi constatada. Somente nos níveis de 75% e 100% de P é que foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos sem e com inoculante, sendo o maior valor de teor de P nas folhas atribuído ao tratamento sem inoculação (Figura 14a). Para o Latossolo independentemente da presença ou ausência de inoculante não foi observada influência significativa dos níveis de P sobre os teores de P nas folhas. Na comparação entre os tratamentos, apenas no nível de 100% de P houve diferença

estatisticamente significativa, sendo o maior valor observado no tratamento sem inoculante (Figura 14b).

Figura 14 - Teor de P nas folhas de plantas de soja em função da interação de níveis de P, tipos de solos e fator inoculante (a e b); e teor de P nas raízes de plantas de soja em função da interação de níveis de P e fator inoculante (c) e da interação de níveis de P e tipos de solo (d). Santa Maria/RS, 2022.



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 15,56 % (a e b) e 12,79 % (c e d).

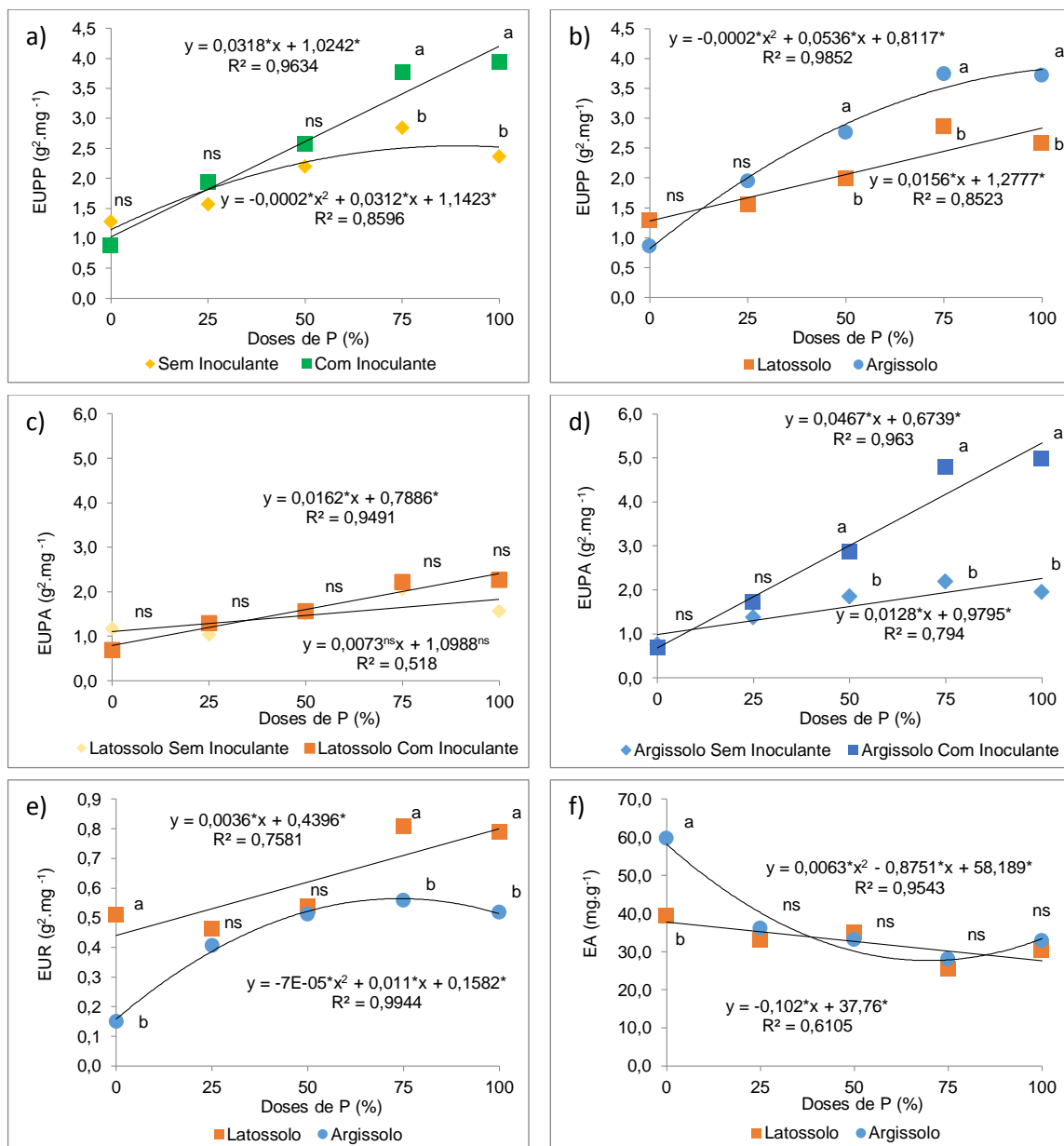
Foi encontrada interação significativa entre níveis de P e fator inoculante para a variável teor de P nas raízes (Apêndice AO). Conforme a Figura 14c, um aumento no teor de P nas raízes foi observado nos tratamentos com inoculação em função do aumento dos níveis de P. Por outro lado, nos tratamentos sem inoculação não foi observado efeito significativo dos níveis de P sobre os teores de P nas raízes. Diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos foi observada nos níveis de 50%, 75% e 100% de P, onde o tratamento com inoculante apresentou maiores valores (Figura 14c).

A análise de variância também demonstrou haver interação significativa entre os fatores tipos de solo e níveis de P para teor de P nas raízes (Apêndice AO). Para o Latossolo, a aplicação de níveis crescentes de P resultou em aumento quadrático da variável (Figura 14d). Para o Argissolo não foi observado efeito significativo dos níveis de P sobre os teores de P nas raízes. Todavia, valores significativamente maiores da variável foram observados no Argissolo em todos os níveis de P.

Interação significativa foi encontrada entre os fatores inoculante e níveis de P, e, também, entre os fatores tipos de solo e níveis de P para a eficiência de utilização do P na planta (EUPP) (Apêndice AP). Na Figura 15a é possível observar que ambos os tratamentos aumentaram a EUPP em razão do aumento dos níveis de P. Além disso, a partir do nível 75% os tratamentos com inoculação apresentaram valores de EUPP superiores aos tratamentos sem inoculação, os quais responderam de forma quadrática em função dos níveis de P. Nos demais níveis fosfatados não ocorreu diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos sem e com inoculante. Na interação entre tipos de solo e níveis de P a EUPP também apresentou aumento em função dos níveis fosfatados em ambos os solos, mas foi maior nas plantas cultivadas em Argissolo, com exceção dos níveis de 0% e 25% de P onde a diferença entre os tratamentos não foi significativa (Figura 15b).

Na Figura 15 (c e d) estão apresentadas as equações de regressão da interação tripla entre níveis de P, tipos de solo e fator inoculante para a eficiência de utilização do P na parte aérea (EUPA) (Apêndice AQ). Para o Latossolo apenas o tratamento com inoculante apresentou efeito significativo de aumento da EUPA em razão dos níveis crescentes de P. Todavia, não houve diferença estatística entre os tratamentos sem e com inoculante em cada nível de P. No Argissolo ambos os tratamentos, com e sem inoculante, responderam linearmente com aumento da EUPA em função dos crescentes níveis fosfatados. Entretanto, a partir do nível de 50% de P os tratamentos com inoculante obtiveram maiores valores para a variável, chegando ser até 255,8% superior em relação ao tratamento sem inoculante no nível de 100% de P. Por outro lado, nos níveis de 0% e 25% não houve diferença estatística entre os tratamentos sem e com inoculante.

Figura 15 - Eficiência de utilização de P por plantas (EUPP) de soja em função da interação do fator inoculante e níveis de P e dos fatores níveis de P e tipos de solo (a e b); Eficiência de utilização de P na parte aérea (EUPA) em função níveis de P, tipos de solos e fator inoculante (c e d); Eficiência de utilização de P na raiz (EUR) em razão dos níveis de P e tipos de solo (e); e Eficiência de absorção (EA) de P em razão dos níveis de P e tipos de solo (f). Santa Maria/RS, 2022.



Médias seguidas por mesma letra dentro de cada dose de P não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); *significativo a 5%; e ns não significativo; C.V: 22,55 % (a e b); 28,89 % (c e d); 28,85 % (e); 20,65 % (f).

Foi encontrada interação significativa entre os fatores níveis de P e tipos de solo para a eficiência de utilização do P na raiz (EUR) (Apêndice AR). Em ambos os

solos houve aumento da EUR em razão dos níveis fosfatados crescentes, a exceção do último nível no Argissolo. Entretanto, maiores valores para a variável foram observados no Latossolo, sendo que apenas nos níveis de 25% e 50% de P não houve diferença significativa entre os tratamentos. Além disso, maiores valores de EUR foram observados na ausência do inoculante nos tratamentos com utilização do Latossolo (Tabela 18). Por outro lado, quando utilizado Argissolo não houve diferença entre os tratamentos sem e com inoculante.

Tabela 18 - Eficiência de utilização de P na raiz (EUR) e Eficiência de absorção (EA) de P em plantas de soja em função do fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamento	EUR ($\text{g}^2.\text{mg}^{-1}$)		EA ($\text{mg}.\text{g}^{-1}$)	
	Sem Inoculante	Com Inoculante	Sem Inoculante	Com Inoculante
Latossolo	0,758 aA	0,482 aB	32,37 bA	32,95 aA
Argissolo	0,421 bA	0,437 aA	42,43 aA	33,48 aB
C.V.(%)	28,85		20,65	

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

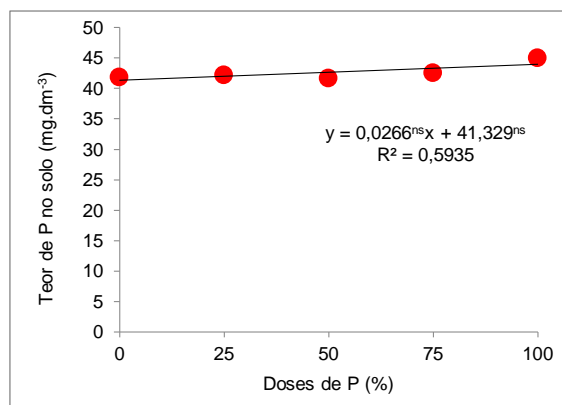
Também foi encontrada interação significativa entre os fatores níveis de P e tipos de solo para eficiência de absorção do P (EA) (Apêndice AS). Os tratamentos com Argissolo responderam de forma quadrática com queda significativa da EA das plantas até o nível de 50% de P. Já os tratamentos com Latossolo responderam de forma linear com tendência de queda sutil em função dos níveis de P. Apenas no nível de 0% houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo 52,1% maior para o Argissolo em relação ao Latossolo. Não houve efeito significativo sobre a EA da presença do inoculante quando utilizado o Latossolo (Tabela 18). No entanto, para o Argissolo, maiores valores de EA foram observados nos tratamentos sem inoculante.

5.10 TEOR DE P NO SOLO

A análise de variância demonstrou não haver interação significativa entre os fatores tipos de solo, inoculante e níveis de P para o teor de P disponível no solo ao final do ciclo de desenvolvimento das plantas (Apêndice AT). Também não foi

observado efeito significativo dos níveis crescentes de P sobre essa variável, embora tenha sido observado no nível 100% de P um valor 7,5% maior que no nível 0% de P (Figura 16).

Figura 16 - Teor de P disponível no solo em função dos níveis de P. Santa Maria/RS, 2022.



ns: não significativo

Os tratamentos com Argissolo apresentaram valores de P disponível estatisticamente superiores em cerca de 100% aos observados no Latossolo, todavia não houve efeito significativo do fator inoculante sobre a disponibilidade de P ao final do ciclo das plantas de soja (Tabela 19).

Tabela 19- Teor de P disponível no solo em função dos tipos de solos e fator inoculante. Santa Maria/RS, 2022.

Tratamentos	P no solo (g.dm ⁻³)	Tratamentos	P no solo (g.dm ⁻³)
Argissolo	56,84 a	Sem Inoculação	42,12 ns
Latossolo	28,48 b	Com Inoculação	43,20
C.V.(%)			8,31

ns: não significativo

6 DISCUSSÃO

Respostas positivas no crescimento de plantas com adubação fosfatada têm sido amplamente relatadas na literatura (AVALHAES et al., 2009; FAVARE, 2010; LANA et al., 2004; SCHUMACHER; CECONI; SANTANA, 2004). Não diferente, os dados de estatura de plantas (EP) deste estudo demonstram o importante papel que o P exerce no crescimento vegetal. Novais et al. (2007) explicam que o P exerce função fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas por participar dos compostos de trifosfato de adenosina (ATP) sendo fonte de energia para os processos metabólicos. Esses processos incluem a síntese de ácidos nucleicos, fotossíntese, glicólise, respiração, síntese e estabilidade de membrana, ativação/inativação enzimática, reações redox, sinalização, metabolismo de carboidratos e fixação de nitrogênio (ABEL; TICCONI; DELATORRE, 2002).

A concentração desse nutriente na planta é relativamente pequena, mas criticamente importante. A deficiência de P acarreta modificações na fisiologia, morfologia e transporte de outros nutrientes na planta (GONZÁLES, 2014) podendo resultar em atraso na maturação, redução no desenvolvimento floral, baixa qualidade de sementes e decréscimo na produtividade (HYLAND et al., 2005). Entretanto, foi possível constatar neste ensaio que mesmo nos tratamentos sem adição de P (nível 0%) a média dos valores de EP foi de 71 cm para o Latossolo e 78 cm para Argissolo ficando dentro da altura mínima desejável de 60 cm recomendada pela Embrapa (2013) para uma colheita mecanizada eficiente.

Essa diferença na média dos valores de EP possivelmente se deve ao teor e a constituição mineralógica da fração argila de cada solo que assumem papel importante na caracterização deste como dreno ou fonte. Como já relatado anteriormente, em todos os estádios de avaliação a EP foi significativamente menor no Latossolo, chegando a apresentar uma média de estatura de 19 cm inferior no nível de 100% de P no estádio R5. Isto provavelmente ocorreu porque em solos que apresentam maior teor de argila, ou seja maior poder-tampão, ocorre retenção do P com maior facilidade, dificultando a absorção do nutriente pelas plantas e contribuindo assim para que sejam menores os valores de EP neste solo. Segundo Rolim Neto et al. (2004) devido às diferentes concentrações de argila e oxidróxidos os menores teores de P no solo são encontrados nos solos mais argilosos e os maiores teores nos solos mais arenosos. Ainda, considerando-se apenas a

influência da textura, Donagemma et al. (2008) afirmam que o processo de adsorção de fosfato ocorre de acordo com a ordem de prevalência dos minerais argila, seguida do silte, areia fina e areia grossa. Tal ordem, segundo os autores, dá-se em razão da diferença de superfície específica entre as frações texturais.

A expressiva queda da área foliar (AF) das plantas cultivadas nos tratamentos com os menores níveis de P tem sido apontada como um dos fatores responsáveis pela redução no crescimento vegetal em função da menor área de superfície de captação do CO₂. O mesofilo foliar, em razão da riqueza de suas células em cloroplastos, é o tecido de maior atividade fotossintética sendo responsável pelas trocas gasosas entre planta e o ambiente. O baixo suprimento de P limita acentuadamente o crescimento foliar e, indiretamente reduz a fotossíntese já que afeta negativamente o número e tamanho das folhas. Tal fato, conseqüentemente, reduz a área foliar necessária a uma maior captação da radiação fotossinteticamente ativa (RIPLEY; REDFERN; DAMES, 2004).

Resultados semelhantes ao deste trabalho foram encontrados por Lima et al. (2011) ao avaliar o efeito da adição de superfosfato simples no substrato sobre o crescimento e teor foliar de macronutrientes de mudas de pinhão manso. A área foliar teve aumento de 136% na dose máxima de crescimento quando comparada ao substrato sem adição de fósforo. Por outro lado, doses de fósforo muito elevadas, provocaram redução no crescimento da planta, principalmente da área foliar e das raízes. Segundo Grant et al. (2001) o excesso de P no solo pode não ser benéfico uma vez que gera deficiência de cobre, ferro, manganês e zinco.

O incremento na variável massa seca de parte aérea (MSPA) das plantas já era esperado, pois à medida que se aumenta a área foliar, maior é o acúmulo de fotoassimilados e maior será a massa seca da planta. Já os menores níveis do nutriente promoveram a desaceleração no crescimento das plantas como verificado na avaliação de EP e AF, refletindo negativamente também na produção de matéria seca tanto de parte aérea como de raiz. A fotossíntese é o processo primário para o acúmulo de biomassa sendo o ganho resultado dentre outros fatores, de uma maior capacidade de captação de CO₂ da atmosfera. Neste sentido, pode-se inferir que a redução na biomassa das plantas ocorreu em razão da redução da expansão foliar (OSÓRIO et al., 1998) uma vez que sua produção é dependente da fotossíntese, o que explica a menor produção de matéria seca nestes tratamentos.

A razão parte aérea/raiz pode indicar as estratégias de alocação de recursos utilizados pelas plantas (WANG; INUKAI; YAMAUCHI, 2006). Existem vários trabalhos que sugerem que a deficiência de P leva a um aumento na alocação de carboidratos às raízes, inclusive em estudos realizados com soja como relatado por Chu et al. (2018) e Fernandez e Rubio (2015) que observaram aumento da razão raiz:parte aérea das plantas de soja como estratégia de aquisição de P. Entretanto, a adaptação das plantas a ambientes com baixa disponibilidade do nutriente varia entre espécies e até mesmo entre genótipos apresentando diferentes mecanismos de aquisição e utilização de P. Genótipos eficientes em nutrientes podem ter um aumento na capacidade de explorar o solo, converter formas de nutrientes indisponíveis em formas disponíveis para plantas, e/ou absorver nutrientes através da membrana plasmática (RENGEL, 2001).

Para Freitas et al. (2007), o desenvolvimento e crescimento do sistema radicular e da parte aérea são interdependentes, ou seja, a limitação de um resulta em restrição ao outro, tanto que uma desfolha na parte aérea é seguida por uma considerável morte de raízes, pois essas direcionam suas reservas para atender à demanda da parte aérea. Apesar da diferença encontrada na razão parte aérea/raiz das plantas deste ensaio, a resposta em acúmulo de massa seca em função dos níveis fosfatados apresentou comportamento de interdependência entre a parte aérea e sistema radicular das plantas.

Assim como descrito neste trabalho, estudos com adubação fosfatada têm demonstrado influência na massa seca de raiz de várias culturas. Fageria e Moreira (2011) relataram que o peso seco da raiz foi reduzido em 62% no arroz, 74% no feijão, 50% no milho e 21% na soja sem adição de P no solo, em comparação com o P adequado em um Latossolo Vermelho. Ainda, segundo os autores, com a aplicação de P as raízes tiveram melhor desenvolvimento e absorveram os nutrientes em maior velocidade, suprimindo a necessidade das plantas. Martins e Pitelli (2000) observaram aumento de 208,5% na massa seca de plantas de soja com a aplicação de 200 mg dm⁻³ de P. Para Baligar, Fageria e He (2001) a variação do peso seco da raiz é controlada geneticamente e também influenciada por variáveis ambientais, como o fornecimento de nutrição mineral.

Ao nível foliar, as fosfatases são responsáveis pela desvinculação do P de compostos orgânicos e pela mobilização e translocação de P de tecidos senescentes (NANAMORI et al., 2004). Além disso, a fosfatase ácida pode também

ser secretada na rizosfera na tentativa de disponibilizar e captar o P inorgânico da solução do solo (GILBERT et al., 2002). Dessa maneira, maior atividade dessas enzimas tem sido associada a baixos teores celulares de P inorgânico (BOZZO; DUNN; PLAXTON, 2006).

Entretanto, foi sugerido que a remobilização do P é um importante determinante da eficiência de P na planta (SMITH; JACKSON; BERG P, 1990), onde a elevada ciclagem interna de P contribuiria para a adaptação das plantas a solos com baixa disponibilidade do nutriente e, conseqüentemente, expressaria maior atividade da fosfatase na planta. Desse modo, ainda existem controvérsias a respeito do papel das fosfatases, se seriam indicadoras da deficiência de P ou determinariam maiores valores de eficiência de utilização do P (EUP).

Furlani e Machado (2002a) discutem o papel das fosfatases nas plantas e sugerem duas vias de interpretação. A primeira é que plantas eficientes na utilização de P possuem elevada atividade da fosfatase ácida (nas raízes ou nas folhas), como sinal de sua competência para hidrolisar e remobilizar o P do solo. Já a outra interpretação, segundo os autores, seria que plantas eficientes na utilização de P possuem menor exigência em P e, conseqüentemente, apresentam menor atividade da fosfatase ácida em situação de estresse do nutriente. A primeira interpretação aponta um papel direto das fosfatases ácidas nos mecanismos de absorção e eficiência de uso de P pelas plantas, já a segunda pressupõe uma relação indireta, ou seja, uma indicação de menor ou maior demanda de P pelas plantas. Em seus estudos, Zhou et al. (2016), ao avaliarem genótipos de soja eficientes e não eficientes em P sob alta e baixa disponibilidade de P, verificaram que genótipos eficientes apresentaram aumento expressivo da atividade da fosfatase ácida nas raízes quando submetidos a baixa disponibilidade de P, levando a corroborar com a primeira interpretação de Furlani e Machado (2002b).

De forma geral, os resultados do presente trabalho mostram um efeito mais claro da disponibilidade de P no solo sobre a atividade da fosfatase ácida quando avaliada nas raízes. O aumento dos níveis de P no solo resultou na redução da atividade da fosfatase nas raízes, indicando que a alta atividade da enzima neste órgão possa ser um indicador de deficiência de P. Entretanto, é difícil concluir sobre qualquer uma das hipóteses mencionadas já que as diferenças nos valores de atividade da fosfatase ácida de raiz nem sempre evidenciam diferenças nas plantas quanto à absorção e eficiência de utilização de P. Estudos com marcadores

genéticos em genótipos de feijão, um eficiente e outro ineficiente, comprovaram que o *locus* gênico da fosfatase ácida de raiz não estava associado aos loci de eficiência de captação e utilização de P (FURLANI; MACHADO, 2002c).

Recentemente um tipo específico de fosfatases ácidas tem sido descobertas, as chamadas fosfatases ácidas púrpuras. Estas enzimas contêm um centro de íon metal binuclear e são capazes de hidrolisar uma grande gama de ésteres fosfato e anidridos. Embora já se saiba que as fosfatases ácidas púrpuras sejam importantes na utilização de fosfatos orgânicos em situação de baixa disponibilidade de P, a função da maioria delas ainda permanece desconhecida (LI et al., 2012).

Diversos genes codificadores de enzimas fosfatases ácidas púrpuras já foram identificados em espécies vegetais, sendo alguns deles em soja, como é o caso do GmPAP3, GmPAP4, GmPAP21 e GmPAP14. Estudos demonstraram que a expressão dos genes GmPAP3 e GmPAP14 está relacionada à presença de estresse salino e remobilização de P de nódulos, raízes e folhas velhas, respectivamente (LI et al., 2017; LIAO et al., 2003). Já os genes GmPAP4 e GmPAP14 estão relacionados a melhoria da utilização de P orgânico externo pelas plantas (KONG et al., 2014; KONG et al., 2018). Em milho ao menos 33 genes da família das fosfatases ácidas púrpuras já foram identificados, os quais se expressam em diferentes tecidos e em diferentes estádios de desenvolvimento das plantas (GONZALEZ-MUNOZ et al., 2015).

Essas informações revelam a ampla variedade de fosfatases ácidas codificadas pelas plantas as quais apresentam diferentes funções e são expressas em situações diversas. Tal fato torna difícil a interpretação e comparação de estudos já realizados devido a essa variação genotípica que pode apresentar diferenças inter e intraespecíficas na atividade da enzima como nos resultados encontrados por Raposo et al. (2004). Os autores verificaram a ocorrência de cultivares de soja com alta e baixa atividade de fosfatase ácida nos mesmos grupos de maturação indicando a existência de diferentes mecanismos envolvendo tanto a mobilização do P no solo como a remobilização interna do P na planta. Outro aspecto que dificulta a interpretação dos resultados é o fato de os dados da atividade da fosfatase ácida serem provenientes da expressão de um grupo de fosfatases não especificadas, as quais podem estar relacionadas a diferentes funções na planta. Sendo assim, a variabilidade genotípica deve ser conhecida e considerada antes de usar a atividade

da fosfatase como um indicador do estado nutricional do P, ou tolerância, adaptação e eficiência do P em condições de baixo P.

Os teores de clorofila são parâmetros muito importantes a serem avaliados no cultivo de plantas. Os teores foliares desses pigmentos determinam o potencial fotossintético e, conseqüentemente, a produção primária das plantas (BLACKBURN, 2007). De modo geral, houve um comportamento semelhante nas concentrações dos pigmentos fotossintéticos avaliados em função dos tratamentos. Maiores teores de clorofilas (Chl) e carotenoides foram verificados nas menores doses de P. Tal fato pode ser explicado com base em Marschner (2002) que descreve que sob condições de deficiência de P frequentemente o teor de clorofila nas plantas é elevado. O tamanho pequeno e a cor verde escura das lâminas foliares nessas plantas seria resultado da expansão foliar ineficiente, que conduz a um elevado número de células por unidade de área foliar, embora a eficiência fotossintética por unidade de clorofila seja muito baixa. Estas informações também corroboram com os resultados encontrados no presente trabalho, no qual apesar do superior teor de clorofila das folhas nos tratamentos com baixo P, a taxa de assimilação líquida dessas plantas foi cerca de 20% inferior em relação aos tratamentos com os maiores níveis fosfatados (Figura 7b).

Analisando a Figura 5 observa-se a predominância quantitativa da Chl *a* em relação a Chl *b* e carot. Isso se justifica pelo fato da clorofila *a* ser o principal pigmento envolvido na fotossíntese, atuando ativamente na produção de substâncias orgânicas, enquanto os demais pigmentos (clorofila *b* e carotenoides) atuam como pigmentos acessórios ajudando a ampliar a faixa de luz que pode ser utilizada nesse processo complementando a captação de luz (TAIZ; ZEIGER, 2013b).

Apesar do P não ser um integrante da molécula de clorofila, ele fornece energia ao processo ativo de absorção de nitrogênio (N), o qual é constituinte do anel porfirínico da molécula, como descrevem Taiz e Zeiger (2013c). No caso das plantas de soja a maior parte do N é obtida através da fixação biológica (FBN), sendo influenciada diretamente pela disponibilidade de fosfato. O P estimula o crescimento da planta aumentando a FBN através do desenvolvimento e funcionamento dos nódulos já que a atividade da enzima nitrogenase, responsável pela redução do N atmosférico, é dependente de ATP (SULIEMAN; FISCHINGER; SCHULZE, 2008a). Tal fato pôde ser verificado neste estudo na comparação da

nodulação das plantas de soja nos diferentes tratamentos, onde as plantas com os maiores níveis de P apresentaram visualmente um maior número e tamanho de nódulos.

Os teores de clorofilas geralmente estão relacionados positivamente com o teor de N das plantas. No entanto, a maior nodulação e teoricamente a maior fixação de N nos tratamentos com maior disponibilidade de P não resultou em aumento nos teores de clorofila das folhas. Conforme Sulieman, Fischinger e Schulze (2008b), um suprimento baixo e limitante de P eventualmente reduz o crescimento da planta e, portanto, reduz a demanda de N e a fixação de N_2 .

Os três principais componentes de rendimento de grãos na cultura da soja são definidos através da relação do número de vagens por planta ou por área, número de grãos por vagem e o peso médio de grãos. Na literatura vários autores relatam o efeito direto da disponibilidade de P no solo sobre a produtividade de grãos de soja (GUARESCHI et al., 2008; NETO et al., 2010; VALADÃO JÚNIOR et al., 2008), corroborando com os resultados encontrados neste estudo.

Para Thomson, Bell e Bolland (1992), o aumento da produtividade devido ao incremento de P é resultado tanto do maior crescimento do sistema radicular e parte aérea, como ao favorecimento da nodulação. Conforme Sulieman, Fischinger e Schulze (2008c) a fixação simbiótica de nitrogênio (FBN) é um processo que consome energia e a supressão prolongada de P pode afetar a capacidade do nódulo em assimilar N, devido à queda na disponibilidade de ADP e ATP. Sá e Israel (1991) também relatam que o P tem influência na iniciação, crescimento e funcionamento dos nódulos já que a atividade da enzima nitrogenase é dependente de ATP. Em seus trabalhos Araújo, Arruda e Dantas (2005) verificaram que altas doses de P, além de proporcionar maiores produtividades de grãos de soja, promoveram maior estímulo à nodulação favorecendo a fixação de N atmosférico.

Embora não tenha havido interação significativa entre níveis de P e tipos de solo, as variáveis produtividade de grãos (PG) e número de grãos por planta (NGP) apresentaram valores estatisticamente superiores para os tratamentos com Argissolo. Isso sugere mais uma vez que a resposta da planta foi influenciada pelos atributos dos solos que refletem o poder tampão do Latossolo. Já a queda nos valores de peso de mil grãos (PMG) observadas para Argissolo nos maiores níveis de P pode ser atribuída a maior ocorrência de chochamento de grãos. Nestes tratamentos foi observado o desenvolvimento de um número elevado de grãos por

planta, entretanto, não houve produção de fotoassimilados suficiente para o enchimento total dos mesmos. As plantas desses tratamentos foram as primeiras a iniciar a senescência, o que pode ter contribuído para o enchimento de grãos deficiente. Esta hipótese também é sustentada pelo fato de que na falta de P as plantas reduzem o número de sementes ao invés de reduzir o tamanho de cada uma, conseguindo, dessa forma, fornecer uma quantidade razoável de P a cada uma delas (GRANT et al., 2001b). Ainda, a queda nos valores de vigor das sementes foi verificada nestes mesmos tratamentos sugerindo também estar relacionado ao fato do chochamento dos grãos como relatado.

A taxa de assimilação líquida (A) indica a quantidade de CO_2 consumido pelas plantas para síntese dos carboidratos que serão convertidos em biomassa e grãos. Durante o período experimental, para cada estágio de avaliação da taxa de assimilação líquida ocorreu interação significativa diferente entre os fatores estudados. Entretanto, de maneira geral, nos estágios V4 e R2 houve uma tendência de aumento da variável em consequência dos níveis crescentes de P. Essa diferença na taxa de assimilação líquida observada nos tratamentos se correlaciona com o aumento dos valores de biomassa das plantas observados em estatura de plantas (EP), área foliar (AF) e massa seca (MS). Esses dados corroboram com a literatura que propõe que baixas concentrações de P foliar podem limitar as taxas de assimilação de carbono a partir da redução na produção de ATP, de açúcares fosfato e regeneração do substrato ribulose-1,5- bisfosfato (THOMAS; MONTAGU; CONROY, 2006) resultando em um comprometimento da atividade fotossintética das plantas, com possível redução de seu crescimento e desenvolvimento.

Contudo, é importante ressaltar que mesmo a alta assimilação de CO_2 não é sinônimo de maior crescimento e acúmulo de carboidratos pelos vegetais, pois estes dependem não somente da quantidade de dióxido de carbono assimilado, mas também do balanço hormonal e do padrão específico de cada planta (LARCHER, 2006).

Em R5 o comportamento da variável foi dessemelhante as demais interações, com queda na taxa de assimilação líquida de CO_2 das plantas submetidas aos maiores níveis fosfatados. Isto ocorreu devido às plantas, principalmente as cultivadas no Argissolo, provavelmente já terem iniciado fisiologicamente a senescência no momento da avaliação. Tal fato influenciou da mesma forma as avaliações de condutância estomática (Gs), eficiência de uso da água (EUA) e

eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/C_i). Em ambos os solos, mas especialmente no Argissolo, as plantas submetidas aos maiores níveis de P apresentaram menor ciclo comparado às plantas submetidas aos níveis com baixo P, o que explica o decréscimo das variáveis nesse estágio (R5).

A condutância estomática mostrou ser uma variável pouco influenciada pelos fatores estudados. Alguns trabalhos sugerem não haver relações diretas entre a G_s e os efeitos do P na fotossíntese (WARREN, 2011). Outras abordagens sugerem que a deficiência de P pode afetar a condutância estomática devido a sua relação com as características morfológicas e anatômicas da folha alteradas em função da limitada expansão foliar (SEKIYA; YANO, 2008). Para Carvalho et al. (2009), mudanças nos valores da condutância estomática são causadas, principalmente, por alterações no potencial hídrico e temperatura foliar. Dessa maneira, a redução da condutância estomática tem por principal causa o déficit de pressão de vapor, que diminui a taxa de assimilação de carbono. Conforme Flexas et al. (2006), com valores de condutância estomática entre 0,05 a 0,10 mol $H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$, a fotossíntese fica limitada pela restrição da difusão do CO_2 , revelando assim um estado de estresse das plantas. Com isso pode-se observar que não houve condições de estresse, pois os valores de condutância foram superiores a 0,34 mol $H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$.

Diretamente relacionada à abertura do estômato (tamanho), a condutância estomática, conforme Jadoski, Klar e Salvador (2005), refere-se ao mecanismo fisiológico das plantas que controla a taxa transpiratória. Essa regulação da abertura estomática possui basicamente dois componentes, um ligado à pressão de turgor das células-guarda, portanto um controle hidráulico, e outro ligado à concentração de CO_2 intercelular (C_i). Uma redução na quantidade de C_i estimula a abertura estomática e vice-versa (LUTTGE, 2004). Dessa maneira, sugere-se que a elevada concentração de CO_2 intercelular observada nos menores níveis de P induziram as plantas ao fechamento estomático parcial o que explica a redução na taxa transpiratória observada nestes tratamentos.

Com a adequada disponibilidade hídrica durante o ensaio, as plantas que apresentaram os menores valores de concentração de CO_2 intercelular (nos maiores níveis fosfatados) puderam expressar máxima taxa transpiratória, sem acarretar fechamento estomático. Assim, as plantas cultivadas nestes tratamentos puderam manter seus estômatos abertos, possibilitando a entrada de CO_2 com manutenção

da fotossíntese, o que levou também as maiores taxas de assimilação líquida observada.

Uma maior taxa fotossintética aumenta o consumo de C_i diminuindo sua concentração, levando a planta ao estímulo da abertura estomática. Neste sentido, a queda na concentração de CO_2 intercelular no mesofilo foliar das plantas nos maiores níveis fosfatados provavelmente esteja relacionada a maior taxa de assimilação líquida de CO_2 e não em função de fechamento estomático. Tal hipótese também é sustentada pelo fato de que nestes tratamentos se encontram as maiores taxas transpiratórias, indicando que possivelmente não há restrição na entrada de CO_2 .

A razão entre a taxa fotossintética e a taxa de transpiração resulta na eficiência do uso da água (EUA) (LARCHER, 2000), sendo esta descrita como a quantidade de água perdida por uma planta para a produção de certa quantidade de matéria seca (MACHADO et al., 2010). De modo geral, as plantas, quando estão sob algum tipo de estresse, reduzem a condutância estomática e taxa transpiratória e aumentam a EUA. No entanto, no presente ensaio os fatores estudados não influenciaram significativamente a EUA das plantas.

A exemplo da taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) a Eficiência de carboxilação instantânea da Rubisco (A/C_i) foi influenciada positivamente pela maior disponibilidade de P. Segundo Zhang et al. (2018), a deficiência de P na folha pode reduzir a regeneração da Rubisco e, conseqüentemente, a redução da taxa de assimilação de CO_2 , limitando assim a taxa fotossintética e o acúmulo de amido, resultando em prejuízos à biomassa da planta. Assim, o menor crescimento (EP) e acúmulo de massa seca (MSPA e MSR) verificados nos baixos níveis de P são resultantes tanto da restrição da área foliar (AF) quanto da redução da fotossíntese.

O desenvolvimento do sistema radicular é um fator importante na absorção de nutrientes, pois determina o volume de solo que cada planta conseguirá explorar. Neste estudo, de modo geral, houve um comportamento semelhante na resposta aos níveis fosfatados para todas as variáveis morfológicas de raiz analisadas.

Nas variáveis que tiveram interação significativa com o fator solo, foi encontrada diferença na morfologia do sistema radicular entre as plantas cultivadas em cada tipo de solo somente no último nível fosfatado. Maiores valores foram atribuídos para o Latossolo, sugerindo novamente a influência do solo na resposta das plantas. Sabe-se que as condições do solo como textura, estrutura, umidade, pH

e nutrientes exercem influência no crescimento radicular (PERES; KERBAUY, 2000). Além disso, a eficiência da adubação fosfatada caracteriza uma resposta diferente para cada tipo de solo, tornando-se geralmente mais baixa em solos com altos teores de argila como o Latossolo. Isso ocorre, como já mencionado, devido à formação de compostos estáveis de alta energia de ligação e baixa solubilidade com a fase sólida mineral do solo, principalmente com óxidos e hidróxidos de Fe e Al tornando o P indisponível para as plantas. E apesar dos dois solos responderem positivamente aos níveis fosfatados, o Argissolo atingiu o ápice de resposta para as variáveis das plantas antes do nível de 100%, enquanto o Latossolo continuou respondendo linearmente até o último nível de P, reforçando a necessidade de quantidades mais elevadas do nutriente para atingir o máximo desenvolvimento das plantas.

Também é sabido que o aumento do nível do P no solo favorece o crescimento radicular e, conseqüentemente, contribui para uma maior capacidade de absorção de nutrientes (NOVAIS; SMYTH, 1999). Todavia, plantas eficientes também podem responder de forma contrária, com o aumento do sistema radicular em ambientes de baixo nível de P, para melhor explorar o solo em busca do nutriente (GRANT et al., 2001b).

Zhou et al. (2016b) buscaram avaliar em seus estudos as diferenças genotípicas na eficiência do P e no desempenho das características fisiológicas da soja em resposta ao baixo de P. Os autores relataram que o baixo teor de P reduziu o comprimento, a área e o volume da raiz de genótipos de soja em comparação com o alto nível de P, comportamento igualmente encontrado no presente ensaio. No entanto, os genótipos de soja eficientes em P tiveram maior comprimento, área e volume da raiz do que os genótipos ineficientes em P nas condições de baixo e alto P.

Corrêa, Mauad e Rosolem (2004) buscando avaliar o efeito de doses de P e resíduos de plantas de cobertura na dinâmica do P no solo e no desenvolvimento inicial da soja também verificaram aumento do sistema radicular das plantas devido ao incremento de doses de P. Fageria e Moreira (2011b) relataram comportamento semelhante na cultura do arroz de terras altas sob diferentes doses de fósforo, onde o crescimento radicular aumentou com o acréscimo dos níveis de P. Os autores ainda estudaram a influência dos níveis de P no crescimento radicular de 14 plantas

de cobertura de leguminosas tropicais cultivadas em um Latossolo Vermelho, e no geral, o comprimento da raiz também aumentou com o aumento do nível de P.

A melhoria no comprimento da raiz por meio da nutrição melhorada com P também foi relatada por Fageria (2009) em várias espécies. Conforme Mengel et al. (2001), a nutrição mineral tem um pronunciado efeito no crescimento, desenvolvimento e função da raiz e, conseqüentemente, na capacidade das raízes em absorver e translocar nutrientes. Ainda segundo os autores as deficiências minerais induzem variações consideráveis no crescimento e na morfologia das raízes e tais variações são fortemente influenciadas por espécies de plantas e genótipos.

As análises de tecidos do presente ensaio demonstram que ocorreram variações nos teores de P nas raízes das plantas em função do tipo de solo, sendo as plantas que foram cultivadas nos tratamentos com o Latossolo as que apresentaram quantidades menores de P nos tecidos. Este fato, provavelmente, é devido a maior retenção desse nutriente nesse tipo de solo, estando de acordo com Ismael et al. (1998), que explicam que quanto mais livre o nutriente estiver no solo mais fácil ele é absorvido e maior seu teor dentro da planta.

Com base em Kurihara et al. (2013) todos os tratamentos, até mesmo o nível de 0% de P, encontraram-se com teores de P nos tecidos considerado alto para um bom desenvolvimento de plantas de soja. Oliveira e Thung (1988) relataram que os tecidos de plantas desenvolvidas em casa de vegetação apresentaram maiores quantidades absorvidas de nutrientes que os tecidos de plantas desenvolvidas no campo. Isto se deve ao fato de as plantas de casa de vegetação crescerem sem concorrência.

A tendência de queda nos teores de P foliar com o aumento dos níveis de P aplicados ao solo, observada para o Argissolo, pode estar relacionada com o aumento da biomassa vegetal. Tal fato ocorre quando a taxa de crescimento relativo de matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente. Ou seja, com o aumento da biomassa vegetal há diminuição da concentração foliar de P, caracterizando um efeito de diluição dos nutrientes nos tecidos (JARREL; BEVERLY, 1981).

Conforme Marschner (1991), em condições de baixa fertilidade, plantas adaptadas apresentam, em geral, altas concentrações de P e de outros nutrientes na parte aérea como estratégia para evitar o estresse nutricional, corroborando com

o alto teor de P encontrado nas folhas dos tratamentos com menores níveis fosfatados.

Entretanto, nos tratamentos com Latossolo independente da presença ou não de inoculante, assim como observado em alguns estudos na literatura, os teores de P no tecido foliar praticamente não foram influenciados pelos níveis de P aplicados. Londero (2012) e Vedelago (2014) também trabalhando com a cultura da soja não constataram aumento no teor de P no tecido foliar com o aumento das doses de P.

Já na raiz, o teor de P parece ter sido influenciado positivamente pelos níveis de P nos tratamentos com inoculação, assim como parece também ter sido influenciado pelos níveis de P nos tratamentos com Latossolo, mas essas possíveis influências não refletiram em nenhum parâmetro de crescimento e desenvolvimento das plantas avaliadas neste estudo.

A habilidade de adaptação das plantas a condições de baixa disponibilidade nutricional pode ser entendida como tolerância ou eficiência no uso de nutrientes. A maior ou a menor eficiência no aproveitamento do P presente no solo se baseia em como as plantas absorvem, translocam, acumulam e usam esse nutriente para melhor produção de matéria seca e/ou grãos em condições de deficiência (GERLOFF; GABELMAN, 1983). Sendo assim, plantas eficientes na absorção de P são aquelas que acumulam maiores quantidades do elemento quando cultivadas em baixo nível de P (MATIAS, 2006).

De modo geral, a eficiência de utilização do P das plantas (EUPP) aumentou com a adição dos níveis fosfatados. Tanto a eficiência de utilização do P na parte aérea (EUPA) como a eficiência de utilização do P nas raízes (EUR) também seguiram o mesmo padrão da EUPP, aumentando em função dos níveis de P.

Uma EUPP mais alta é atribuída principalmente à translocação e utilização eficiente do P armazenado nas plantas (KOUAS et al., 2009). Assim, ao contrário do resultado encontrado geralmente a EUP diminui com o aumento de níveis de nutriente aplicado, pois a disponibilidade do nutriente em níveis adequados inviabiliza a ativação de mecanismos de adaptação (FAGERIA, 1992). Contudo, Furlani et al. (2002) observaram que os conteúdos de P em cultivares de soja não foram adequadamente relacionados a outras características que conferem eficiência ao P nesta espécie. Resultado semelhante ao deste estudo também foi encontrado por Araújo et al. (2018) onde a eficiência de utilização do P respondeu linearmente ao incremento das doses de P em plantas de feijão-caupi. Um trabalho desenvolvido

por Zhou et al. (2016c) no Sudoeste da China, evidenciou diferença genética na eficiência no uso de P em cultivares de soja onde houve variação genotípica para rendimento, acumulação de P e características fisiológicas das raízes, tanto em campo como em solução hidropônica.

Ainda analisando a EUPP, as plantas cultivadas nos tratamentos nos níveis de 75% e 100% de P que contemplavam a inoculação com *Bacillus* obtiveram os maiores valores de eficiência de utilização do P na planta comparada às plantas não inoculadas, todavia essa tendência de forma geral não se refletiu em alterações nos parâmetros morfológicos e fisiológicos avaliados nas plantas de soja.

Em contrapartida, as plantas cultivadas nos tratamentos com Argissolo, especialmente nos maiores níveis de P, apresentaram valores superiores de EUPP em relação às plantas cultivadas em Latossolo, o que refletiu diretamente na biomassa vegetal confirmada pelas avaliações de estatura de plantas (EP), área foliar (AF) e massa seca (MS) das plantas.

Com relação à eficiência de absorção (EA), as plantas dos tratamentos 0% de P foram mais eficientes na absorção do nutriente em relação aos demais tratamentos. Tal fato pode ser causado por algum tipo de efeito retroalimentador do *status* de P da planta na atividade da proteína carregadora ou por aumento na quantidade desta em resposta a esse estresse (DREW; SAKER, 1984), entretanto as plantas não atingiram uma maior eficiência de utilização deste nutriente levando a hipótese de que o genótipo em estudo não era eficiente. Silva (2016), submetendo plantas de soja a condições contrastantes de P relata que em condições de baixa disponibilidade de P a eficiência de utilização é o componente mais importante da EUP, pois a planta poderia produzir mais com uma menor exigência do nutriente; enquanto em condições de alta disponibilidade de P, a eficiência de absorção deve ser o principal componente da eficiência de uso de P.

O aumento dos níveis fosfatados promoveu um sutil crescimento linear nos teores de P disponíveis nos solos ao final do ciclo das plantas, porém estes não foram estatisticamente significativos. Uma possível causa da ausência de diferença entre os tratamentos quanto aos teores de P disponível nos solos é o fato de a extração de P pelas plantas ter sido maior nos tratamentos com níveis maiores do nutriente, visto que nestes se constatou maiores valores dos parâmetros de crescimento e desenvolvimento.

Contudo, na comparação dos teores de P no solo extraível pelo método Mehlich-1, antes da semeadura (Apêndice AU) e após a colheita das plantas de soja (Tabela 19), verificou-se o aumento da disponibilidade de P com a adição dos níveis de P, assim como observado por Carmo et al. (2014) ao estudar o crescimento de mudas de cafeeiro submetidas a doses de P. Isso possivelmente ocorreu devido ao aumento do fluxo difusivo, em virtude da saturação da superfície de adsorção, resultando no aumento da concentração de P na solução do solo (COSTA et al., 2006).

Verificou-se também que apesar da adubação fosfatada ter sido realizada para ambos os solos atingirem a mesma faixa de adequação de P no solo para as plantas, o Argissolo apresentou teores mais elevados de P disponível no solo (Tabela 19). Entretanto, esses valores não podem ser comparados diretamente entre si, devido ao método Mehlich-1 apresentar poder de extração diferente em relação às classes texturais.

Conforme Marcolan (2006), solos mais argilosos possuem maior quantidade de P na fase sólida do que os mais arenosos, para uma mesma concentração na solução. No entanto, com a aplicação de doses fosfatadas crescentes em um solo, verifica-se que, após o equilíbrio, o poder tampão diminui porque, proporcionalmente, maior quantidade de P permanece na solução. Com isso, ocorre incremento no fluxo difusivo até a superfície das raízes pelo aumento do gradiente.

Já solos arenosos têm mais P em solução para uma mesma dose do nutriente aplicado do que os argilosos. Maiores valores de P na solução induzem a um maior gradiente de P e esses são mais facilmente conseguidos nos solos arenosos, por terem menor adsorção, o que significa mais P na solução e menos adsorvido (menor poder tampão). Assim, a difusão de P é mais facilitada nos solos arenosos do que nos argilosos explicando os maiores valores de P disponível encontrados nos tratamentos com Argissolo em relação ao Latossolo. Neste sentido, fica claro que a resposta das plantas aos níveis de P não foi influenciada apenas pelas condições químicas desses solos, mas por todas as interações existentes nesse complexo sistema envolvendo também as condições físicas de cada tipo de solo.

O uso das bactérias *B. subtilis* (CNPMS B2084) e *B. megaterium* (CNPMS B119) em tratamento de sementes não influenciou de forma significativa os parâmetros morfológicos, fisiológicos e a produção de massa seca e de grãos das plantas de soja. Também não foi verificado efeito positivo das bactérias inoculadas

sobre a concentração de P nas folhas e sobre o teor de P disponível no solo ao final do ciclo das plantas.

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva (2017) ao avaliar a atividade das bactérias *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* para solubilizar P em mudas de eucalipto. A inoculação no solo em condições de vaso com os inóculos não promoveu maior crescimento das plantas; as concentrações de P solúvel no solo também não apresentaram diferenças significativas entre si; o teor de P nas folhas variou, mas não houve aumento nas concentrações entre os tratamentos; e o número de bactérias totais variou entre tratamentos e períodos, mas não foi constatado aumento significativo quando comparado ao controle. Por outro lado, estudos realizados por Sobral et al. (2004) demonstraram que as bactérias associadas a duas cultivares de soja com características relacionadas à promoção do crescimento vegetal foram identificadas como pertencentes aos gêneros *Pseudomonas*, *Ralstonia*, *Enterobacter*, *Pantoea* e *Acinetobacter*, não sendo mencionado o gênero *Bacillus*.

No entanto, na literatura encontram-se diversos trabalhos que relatam a contribuição de bactérias, principalmente do gênero *Bacillus*, na promoção de crescimento das plantas e melhoria na nutrição fosfatada (ARAÚJO, 2008; TAVANTI et al., 2020). Bai et al. (2002), trabalhando especificamente com a cultura da soja, relataram resultados positivos no crescimento das plantas quando co-inoculadas com *Bacillus* e *Bradyrhizobium japonicum*. Entretanto, na ausência de *B. japonicum*, estes isolados não afetaram o crescimento das plantas. Segundo os autores *Bacillus megaterium* B153-2-2 parece aumentar o crescimento da soja e a nodulação, por *B. japonicum*, ao inibir o crescimento do fitopatógeno na planta hospedeira.

Ressalta-se que existem cerca de 360 espécies de *Bacillus* (<http://www.bacterio.net/bacillus.html>) e nem todas as espécies possuem as mesmas características, sendo as espécies fenotipicamente e genotipicamente heterogêneas (SLEPECKY; HEMPHILL, 2006) e, conseqüentemente, exibindo propriedades fisiológicas bastante diversas, como a capacidade de degradar muitos substratos diferentes derivados de fontes vegetais e animais.

Dessa forma, as taxas de promoção de crescimento (via mecanismos diretos ou indiretos) observadas *in vitro* também nem sempre se traduzem em aumento de crescimento vegetal quando testados em casa de vegetação ou em campo (MONTAÑEZ et al., 2012; TAURIAN et al., 2010). O claro efeito de microrganismos

introduzidos em ambientes de solo mais complexos e em condições de campo, tem se mostrado mais difícil de demonstrar e a resposta inconsistente das plantas e o desempenho de diferentes microrganismos têm sido observados. Por exemplo, um produto comercial de tratamento de sementes contendo *Bacillus firmus* I-1582, uma cepa de promoção de crescimento e biocontrole de nematóide isolada em Israel, não teve efeito sobre os rendimentos da soja e foi ineficaz no controle do nematóide de cisto de soja quando testado em vários locais em Nebraska (MUSIL, 2016). Outro estudo realizado por Akinrinlola et al. (2018) demonstrou variabilidade na habilidade de cepas do gênero *Bacillus* para promoção de crescimento de plantas, sendo essas variações atribuídas a diversos fatores edáficos e da planta hospedeira. O estudo avaliou 12 cepas de *Bacillus* isoladas da rizosfera de trigo com objetivo de identificar cepas que poderiam ser consistentes na promoção do crescimento de milho, trigo e soja. Os resultados indicaram que todas as 12 cepas de *Bacillus* testadas no estudo exibiram potencial significativo para aumentar o crescimento das plantas nos experimentos com milho, mas somente 4 cepas mostraram ter atividade de amplo espectro sendo eficazes no aumento do crescimento da soja e do trigo também. Os autores assim concluíram que o milho foi mais responsivo às cepas de *Bacillus* em geral do que a soja ou o trigo, e segundo eles esse achado está de acordo com outros estudos.

Conforme discutido por Richardson (2001), os resultados contrastantes quanto ao uso de microrganismos inoculados pode ser devido a uma série de fatores que incluem conhecimento insuficiente para a introdução e compreensão da dinâmica dos microrganismos e sua interação com comunidades microbianas complexas no solo, a aparente falta de qualquer associação específica entre os parceiros, e pouca compreensão dos reais mecanismos envolvidos, tanto para os microrganismos como da sua interação e eficácia em diferentes ambientes de solo. Nahas (1999) ainda ressalta que essas diferenças encontradas podem ser atribuídas tanto à diferença nas espécies e cepas bacterianas utilizadas, como na concentração do inóculo, aplicações em sementes ou diretamente no solo, entre outros fatores.

Rengel e Marschner (2005) e Gyaneshwar et al. (2002) também discorrem que a inoculação com solubilizadores de P é dificultada por vários fatores que podem diminuir a eficácia dos microrganismos introduzidos: (1) as cepas introduzidas podem ter uma baixa sobrevivência na rizosfera por causa da

competitividade contra as indígenas, cepas bem adaptadas; (2) devido à natureza e propriedades dos solos; (3) a falta de associações específicas entre microrganismos solubilizadores de P e a planta hospedeira; (4) os microrganismos são selecionados com base em sua solubilização de P *in vitro* em condições ideais para o crescimento e solubilização, enquanto as condições na rizosfera podem estar longe de serem ideais, e (5) o P solubilizado pelos microrganismos pode não estar disponível para as plantas porque os próprios microrganismos o absorvem, fazendo com que a quantidade de P liberada por eles seja insuficiente para um aumento substancial do crescimento vegetal.

Com relação ao fator (3), já foi demonstrado que a variação na microbiota radicular ocorre no nível de família (WANG; QIU, 2006), espécies vegetais (PIVATO et al., 2007; WIELAND et al., 2001) e até mesmo genótipos (LUNDBERG et al., 2012; MICALLEF; SHIARIS; COLÓN-CARMONA, 2009), sugerindo algum grau de controle da planta sobre a montagem da comunidade microbiana.

É sabido que a exsudação da raiz é regulada geneticamente e pode, portanto, formar comunidades distintas de rizobactérias para diferentes genótipos de plantas, resultando em exsudatos altamente variáveis entre as espécies de plantas, tipos de plantas individuais dentro da mesma espécie, em diferentes estágios de desenvolvimento da planta, condições de crescimento e interações bióticas (BADRI et al., 2013; KRISTIN; MIRANDA, 2013). Estudos realizados por Bhattacharyya e Jha (2012) mostraram que os efeitos promovidos pela inoculação com microrganismos parecem ser influenciados por sinais específicos entre as cepas bacterianas e cultivares de plantas.

Neste sentido, é importante enfatizar que as cepas que integram o inoculante utilizado neste ensaio (B2084) e (B119) são provenientes da cultura do milho, originadas de pesquisas realizadas pela Embrapa Milho e Sorgo, embora seu uso já esteja sendo recomendado também para a cultura da soja. *Bacillus subtilis* (B2084) é de origem endofítica habitando o interior dos tecidos, sendo mais especificamente obtida da folha do milho, e *Bacillus megaterium* (B119) é de origem epifítica, ou seja, de microrganismos que colonizam a superfície externa deste vegetal (rizoplano). As cepas utilizadas B2084 e B119 foram testadas em trabalhos *in vitro*, casa de vegetação e a campo, com as culturas de milho e milheto (ABREU et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2020; RIBEIRO et al., 2018, SOUSA et al., 2020) e recentemente também com soja (OLIVEIRA et al.,

2020) com divulgação de boletim técnico informativo, entretanto, nenhum trabalho a nível científico foi publicado para a cultura.

Nas condições em que foi realizado este ensaio, os dados apontam ineficácia do produto para a cultura da soja. Como apresentado e discutido anteriormente, um fator que pode ser responsável pela inconsistência de uma cepa introduzida é sua sensibilidade às condições do solo que podem limitar sua capacidade de colonizar a rizosfera e expressar mecanismos de promoção de crescimento. Entretanto, como neste ensaio foram utilizados dois tipos de solos com constituições de textura, matéria orgânica e mineralogia distintas, a população indígena de microrganismos estabelecidas em cada um dos solos certamente era diferente e a ausência de resposta em todos os tratamentos e em ambos os solos nos leva a pensar em outra condição que poderia ter prejudicado a eficácia e desempenho do inoculante.

Neste sentido, a falta de compatibilidade entre as cepas utilizadas e a planta hospedeira é, dentre os diversos fatores bióticos e abióticos, o elemento que mais pode ter influenciado tal resultado. Usualmente quem garante as condições apropriadas para os microrganismos são as plantas liberando exsudatos de suas raízes; e é por isso que se faz necessário uma associação entre planta e microrganismo adequada. Dessa maneira, os resultados deste estudo sugerem que pode não ter havido uma compatibilidade adequada entre as plantas de soja e as cepas de *Bacillus* utilizadas, sendo tal hipótese sustentada no fato de que tanto *B. megaterium* quanto *B. subtilis* são provenientes de plantas de milho, o que pode ter impossibilitado uma colonização eficaz na rizosfera das plantas de soja.

Todavia, é praticamente impossível afirmar qual ou quais fatores atuaram sobre os resultados deste estudo devido à complexidade da rizosfera que dificulta a compreensão dos efeitos de fatores bióticos e abióticos que possam ter agido para o insucesso do inóculo. É importante também levar em consideração que quase a totalidade dos estudos realizados avaliando a habilidade de microrganismos na promoção de crescimento de plantas, os inóculos utilizados nos ensaios foram obtidos de isolados de bactérias da própria planta em estudo, o que pode influenciar positivamente a compatibilidade entre microrganismo inoculado e planta hospedeira. No entanto, pesquisas com o uso de produtos comerciais já formulados como neste ensaio, são de extrema importância para verificar não só a eficiência, mas também a variabilidade de condições que possam afetar a eficácia do inóculo quando amplamente aplicados na agricultura.

Diante do exposto e dos resultados do presente trabalho, fica evidente que a utilização de microrganismos solubilizadores de P via tratamento de sementes na cultura da soja é uma questão bastante complexa, pois a resposta dessa prática pode ser variável em função de diversos aspectos, tais como a espécie e a cepa bacteriana utilizada, o genótipo da planta de interesse, as interações do microrganismo introduzido com os microrganismos nativos e ainda as condições ambientais, com destaque para as características do solo. Assim, embora o potencial de solubilização de P desses microrganismos claramente exista, novas pesquisas são necessárias para uma melhor compreensão da dinâmica das interações planta-solo-microrganismos para o desenvolvimento de inoculantes responsivos à espécie vegetal desejada e que apresentem desempenho consistente na variedade de ambientes em que plantas de soja são cultivadas.

7 CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente estudo foi conduzido pode-se concluir que:

1 - A inoculação de sementes com *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) não influenciou o crescimento e desenvolvimento das plantas de soja, independentemente do tipo de solo utilizado;

2 - A inoculação de sementes com *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) não influenciou a solubilização do fósforo fixado ao solo e a eficiência de utilização do mesmo;

3 - Os parâmetros fisiológicos, morfológicos e de produtividade das plantas de soja foram influenciados positivamente pelo aumento dos níveis de P, sendo que a máxima resposta em crescimento e desenvolvimento das plantas de soja à aplicação de P foi atingida apenas no Argissolo.

REFERÊNCIAS

- ABEL, S.; TICCONI, C.A.; DELATORRE, C.A. Phosphate sensing in higher plants. **Physiologia Plantarum**, v. 115, n. 1, p. 1-8, 2002.
- ABREU, C.S.; FIGUEIREDO, J.E.F.; OLIVEIRA-PAIVA, C.A.; SANTOS, V.L.; GOMES, E. A.; RIBEIRO, V.P.; BARROS, B.A.; LANA, U.G.P.; MARRIEL, I.E. Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, 2017.
- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **Journal of King Saud University - Science**, v. 26, n.1, p. 1-20, 2014.
- AKINRINLOLA, R.J.; YUEN, G.Y.; DRIJBER, R.A.; ADESEMOYE, A.O. Evaluation of Bacillus Strains for Plant Growth Promotion and Predictability of Efficacy by In Vitro Physiological Traits. **International Journal of Microbiology**, v. 2018, p. 1-11, 2018.
- ALCÂNTARA NETO, F.; GRAVINA, G.A.; SOUZA, N.O.S.; BEZERRA, A.A.C. Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 266-271, 2010.
- ALVES, V.S.B. **Eficiência de genótipos de soja no uso do fósforo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2018.
- ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.T.T. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.
- ARAÚJO, E.O.; FERREIRA, C.R.G.; SCHIOCHET, J.; ALMEIDA, W.S. Doses e fontes de fósforo sob a eficiência nutricional de genótipos de feijão-caupi. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 15, n. 27; p. 149, 2018.
- ARAÚJO, F.F. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis* formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 456-462, 2008.
- ARAÚJO, W.F.; ARRUDA, R.; DANTAS, R. Soybean response to phosphate fertilization. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, p. 129-134, 2005.
- ARCAND, M.M.; SCHNEIDER, K.D. **Plant-and microbial- based mechanisms to Improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 78, n. 4, p. 791-807, 2006.
- AVALHAES, C.C.; PRADO, R.M.; GONDIM, A.R.O.; ALVES, A.U.; CORREIA, M.A.R. Rendimento e crescimento da beterraba em função da adubação com fósforo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 75-80, 2009.

BADRI, D.V.; CHAPARRO, J.M.; ZHANG, R.; SHEN, Q.; VIVANCO, J.M. Application of Natural Blends of Phytochemicals Derived from the Root Exudates of Arabidopsis to the Soil Reveal That Phenolic-related Compounds Predominantly Modulate the Soil Microbiome. **Journal of Biological Chemistry**, v. 288, n. 7, p. 4502-4512, 2013.

BAI, Y.; D'AOUST, F.; SMITH, D.; DRISCOLL, B.T. Isolation of plant-growth-promoting *Bacillus* strains from soybean root nodules. **Journal of Microbiology**, v. 48, n. 3, p. 230-238, 2002.

BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 921-950, 2001.

BHATTACHARYYA, P.N.; JHA, D.K. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPR): emergência na agricultura. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, v. 28, n. 4, 2012.

BLACKBURN, G.A.; Hyperspectral remote sensing of plant pigments. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 4, p. 855-867, 2007.

BONATO, E.R.; BONATO, A.L.V. **A soja no Brasil: história e estatística**. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1987.

BOZZO, G.G.; DUNN, E.L.; PLAXTON, W.C. Differential synthesis of phosphate-starvation inducible purple acid phosphatase isozymes in tomato (*Lycopersicon esculentum*) suspension cells and seedlings. **Plant Cell & Environment**, v. 29, p. 303-313, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária- Brasília: Mapa/ACS, 2009.

CARMO, D.L.; TAKAHASHI, H.Y.U.; SILVA, C.A.; GUIMARÃES, P.T.G. Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeitos de fontes e doses de fósforo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 196-206, 2014.

CARVALHO, C.M.; LACERDA, C.F.; VIEIRA, M.R.; RODRIGUES, C.F.; AMÉRICO, J.G.; NEVES, A.L.R.; Comportamento ecofisiológico das culturas de milho e feijão-de corda sob diferentes condições de cultivo. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, v. 2, n. 2, 2009.

CASAROLI, D.; VAN LIER, Q.J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, São Paulo, v. 32, p. 59-66, 2008.

CHU, S.; LI, H.; ZHANG, X.; YU, K.; CHAO, M.; HAN, S.; ZHANG, D. Physiological and proteomics analyses reveal low-phosphorus stress affected the regulation of photosynthesis in soybean. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 6, 2018.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Décimo segundo levantamento, Setembro de 2021 – safra 2020/2021**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2021. Disponível em:

<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 08 de jan. 2022.

CORRÊA, J.C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p. 1231-1237, 2004.

COSTA, J.P.V.; BARROS, N.F.; ALBUQUERQUE, A.W.; FILHO, G.M.; SANTOS, J.R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 828-835, 2006.

CQFS- Comissão de Química e Fertilidade do solo - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos Requeridos à Nutrição de Plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; ALVAREZ, V.H.; KER, J.C.; FONTES, M.P.F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1785-1791, 2008.

DREW, M.C.; SAKER, L.R. Uptake and long-distance transport of phosphate, potassium and chloride in relation to internal ion concentrations in barley: evidence of nonallosteric regulation. **Planta**, Berlin, v. 160, p. 500-507, 1984.

DUTTA, S.; PODILE, A.R. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): the bugs to debug the root zone. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 36, n. 3, p. 232-244, 2010.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2014**. 1ª ed. Londrina: Embrapa Soja, p. 259, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Brasil adicionou 22,8 milhões de toneladas de fósforo em seus solos nos últimos 50 anos**. Portal Embrapa: Embrapa Solos, 2018a. Disponível em:<<http://www.embrapa.br/noticias>>. Acesso em: 09 mar. 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos (SiBCS)**. 5.ed. Brasília, 2018b.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 537-544, set. 2000.

FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. Nova York: Marcel Dekker, p. 274, 1992.

FAGERIA, N.K. **The use of nutrients in crops plants**. Boca Raton: CRC Press, 2009.

FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A. The role of mineral nutrition on root growth of crop plants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 110, n. 1, p. 251-331, 2011.

FAVARE, L.G. **Doses crescentes de nitrogênio, fósforo, potássio e diferentes níveis de saturação por bases em relação ao desenvolvimento e nutrição mineral de Teca (*Tectona grandis* L.F.), sob condições de vaso**. 2010. f. 90. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, p. 11 (Special Report, 80), 1997.

FERNANDEZ, M.C.; RUBIO, G. Root morphological traits related to phosphorus-uptake efficiency of soybean, sunflower, and maize. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 178, n. 5, p. 807-815, 2015.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; RIBAS-CARBÓ, M. Keeping a positive balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. **Physiologia Plantarum**, v. 127, p. 343-352, 2006.

FREITAS, J.M.N.; CARVALHO, K.S.; LOBATO, A.K.S.; CASTRO, D.S.; MAIA, P.S.P.; NETO, C.F.O.; COSTA, R.C.L. Atividade da redutase do Nitrato, conteúdo relativo de água e teores de clorofilas solúveis totais em folhas de Açazeiro (*Euterpe edulis* Mart.) submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. Nota científica, **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 924-926, 2007.

FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; DELGADO, M.D.P. Variability of soybean germplasm in relation to phosphorus uptake and use efficiency. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 529-536, 2002.

FURLANI, A.M.C.; MACHADO, C.T.T. Variabilidade e herança da eficiência na absorção e utilização de nutrientes em ambientes marginais, em germoplasma de soja, trigo, arroz e milho. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 337-391, 2002.

GERLOFF, G.C.; GABELMAN, W.H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LAUHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.). **Inorganic plant nutrition**, New York, p. 453-480, 1983.

GILBERT, G.A.; KNIGHT, J.D.; VANCE, C.P.; ALLAN, D.L. Acid phosphatase activity in phosphorus-deficient white lupin roots. **Plant, Cell & Environment**, v. 22, p. 801-810, 2002.

GLICK, B.R. Plant Growth-Promoting Bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 1-15, 2012.

GONZÁLES, G.B. **Regulación por micorrizas arbusculares de la fisiología y las acuaporinas de maíz (*Zea mays L.*) em relación con la tolerancia de la planta hospedadora al déficit hídrico.** 2014. Dissertação (Doutorado em Biología Fundamental e de Sistemas) – Universidade de Granada, Espanha, 2014.

GONZALEZ-MUNOZ, E.; AVENDANO-VAZQUEZ, A.O.; MONTES, R.A.; FOLTER, S.; ANDRES-HERNANDEZ, L.; ABREU-GOODGER, C.; SAWERS, R.JH. The maize (*Zea mays* ssp. *mays* var. B73) genome encodes 33 members of the purple acid phosphatase family. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 341, 2015.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 95, p.1-5, 2001.

GUARESCHI, R.F.; GAZOLLA, P.R.; SOUCHIE, E.L.; ROCHA, A.C. Adubação fosfatada e potássica na semeadura e a lanço antecipada na cultura da soja cultivada em solo de Cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 769-774, 2008.

GUIMARÃES, P.T.G.; NOGUEIRA, F.D.; MALTA, M.R.; DIAS, K.G.L.; REIS, T.H.P. Nutrição do cafeeiro e sua relação com a qualidade do café: Fósforo. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 1-128, 2011.

GYANESHWAR, P.; KUMAR, G.N.; PAREKH, L.J.; POOLE, P.S. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant and Soil**, v.245, p. 83-93, 2002.

HISCOX, J.D.; ISRAELSTAM, G.F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v. 57, p.1132-1334, 1979.

HYLAND, C.; KETTERINGS, Q.; DEWING, D. ;STOCKIN K.; CZYMMEK K.; ALBRECHT G.; GEOHRING L. **Phosphorus basics: the phosphorus cycle.** Agronomy Fact Sheet Series, Nova Iorque: Universidade de Cornell, 2005.

ISMAEL, J.J.; VALERI, S.V.; CORRADINI, L.; ALVARENGA, S.F.; VALLE, C.F.; FERREIRA, M.E.; BANZATTO, D.A. Níveis crítico de fósforo no solo e nas folhas para a implantação de *Eucalyptus grandis* Hil ex Maiden, em quatro tipos de solo. **Scientia Forestalis**, n. 54, p. 29-40, 1998.

JADOSKI, S.O.; KLAR, A.E.; SALVADOR, E.D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. **Ambiência**, v. 1, n. 1, p. 11-19, 2005.

JARREL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advanced in Agronomy**, v. 34, p. 197-224, 1981.

KONG, Y.; LI, X.; MA, J.; LI, W.; YAN, G.; ZHANG, C. GmPAP4, a novel purple acid phosphatase gene isolated from soybean (*Glycine max*), enhanced extracellular phytate utilization in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Cell Reports**, v. 33, p. 655-667, 2014.

KONG, Y.; LI, X.; WANG, B.; LI, W.; DU, H.; ZHANG, C. The Soybean Purple Acid Phosphatase GmPAP14 Predominantly Enhances External Phytate Utilization in Plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 292, 2018.

KOUAS, S.; DEBEZ, A.; SLATNI, T.; LABIDI, DREVON, J.J.; ABDELLEY, C. Root proliferation, proton efflux, and acid phosphatase activity in common bean (*Phaseolus vulgaris*) under phosphorus shortage. **Journal of Plant Biology**, v. 52, p. 395-402, 2009.

KURIHARA, C.H.; VENEGAS, V.H.A.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R. F.; STAUT, L. A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes de algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 412-419, 2013.

KRISTIN, A.; MIRANDA, H. The root microbiota—a fingerprint in the soil? **Plant Soil**, v. 370, p. 671-686, 2013.

LANA, R.M.Q.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LUZ, J.M.Q.; J.C SILVA. Produção de alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solos de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 525-528, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, p. 532, 2000.

LEITE, J.N.F. **Formas orgânicas e inorgânicas de fósforo no solo em função de plantas de cobertura e de adubação nitrogenada**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

LI, C.; GUI, S.; YANG, T.; WALK, T.; WANG, X.; LIAO, H. Identification of soybean purple acid phosphatase genes and their expression responses to phosphorus availability and symbiosis. **Annals of Botany**, v. 109, n. 1, p. 275-285, 2012.

LI, C.; LI, C.; ZHANG, H.; LIAO, H.; WANG, X. The purple acid phosphatase GmPAP21 enhances internal phosphorus utilization and possibly plays a role in symbiosis with rhizobia in soybean. **Physiologia Plantarum**, v. 159, p. 215-227. 2017.

LIAO, H.; WONG, F.L.; PHANG, T.H.; CHEUNG, M.Y.; LIA, W.Y.F.; SHAO, G.; YANB, X.; LAMA, H.M. GmPAP3, a novel purple acid phosphatase-like gene in soybean induced by NaCl stress but not phosphorus deficiency. **Gene**, v. 318, p. 103-111, 2003.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER L, DOUCE R (eds). **Methods in Enzimology**, London: Academic Press. v. 148, p. 350-381, 1987.

LIMA, R.L.S.; SEVERINO, L.S.; GHEYI, H.R.; SOFIATTI, V.; ARRIEL, N.H.C. Efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e teor de macronutrientes de mudas de pinhão manso. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 950-956, 2011.

LONDERO, G.T. **Resposta da soja a adubação em solo de várzea e efeito residual em arroz irrigado**. 2012. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

LOPES, A.S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Instituto da Potassa e Fosfato, Piracicaba: Potafos, p.177, 1998.

LUNDBERG, D.S.; LEBEIS, S.L.; PAREDES, S.H.; YOURSTONE, S.; GEHRING, J.; MALFATTI, S.; TREMBLAY, J.; ENGELBREKTSON, A.; KUNIN, V.; DEL RIO, T.G.; EDGAR, R.C.; EICKHORST, T.; LEY, R.E.; HUGENHOLTZ, P.; TRINGE, S.G.; DANGL, J.L. Defining the core *Arabidopsis thaliana* root microbiome. **Nature**, v. 488, p.86-90, 2012.

LUTTGE, U. Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). **Annals of Botany**, Oxford, v. 93, n. 6, p. 629-652, 2004.

MACHADO, A.F.L.; FERREIRA, L.R.; SANTOS, L.D.T.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; MACHADO, M. S.; FREITAS, F.C.L. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de Eucalipto pulverizadas com Glyphosate. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 319-327, 2010.

MACHADO, M.I.C.S.; BRAUNER, J.L.; VIANNA, A.C.T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 331-336, 1993.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 1-7, 2012.

MARCOLAN, A.L. **Suprimento e absorção de fósforo em solos submetidos a diferentes sistemas de preparo**. 2006. f.107. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MARCOS FILHO, J. **Testes de vigor: importância e utilização**. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: Abrates, p. 1-2, 1999.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, p. 889, 2002.

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and soil**, Dordrecht, v. 1, n. 1, p. 1-20, 1991.

MARTINAZZO, R.; SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C; BRUNETTO, G; KAMINSKI, J. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto afetado pela adição de fosfato

solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 563-568, 2007.

MARTINEZ-VIVEROS, O.; JORQUERA, M.A.; CROWLEY, D.E.; GAJARDO, G.; MORA M.L. Mechanisms and practical considerations involved in plant growth promotion by rhizobacteria. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 10, p. 293-319, 2010.

MARTINS, D.; PITELLI, R.A. Efeito da adubação fosfatada e da calagem nas relações de interferência entre plantas de soja e capim-marmelada. **Planta Daninha**, v. 18, p. 331-347, 2000.

MATIAS, G.C.S. **Eficiência nutricional de fontes de fósforo com solubilidade variável em água em cultivares de arroz (*Oryza sativa L.*)**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

MEENA, V.S.; MAURYA, B.R.; MEENA, S.K.; MEENA, R.K.; KUMAR, A.; VERMA, J.P.; SINGH, N.P. Can *Bacillus* species enhance nutrient availability in agricultural soils? In: **Bacilli and Agrobiotechnology**. Springer, p. 367-395, 2016.

MELLO, R.P. **Consumo de água do Lírio Asiático em vaso com diferentes substratos**. 2006. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MENGEL, K.; KIRKBAY, E.A.; KOSEGARTEN, H.; APPEL, T. **Principles of Plant Nutrition**. 5 ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda, 2001.

MICALLEF, S.A.; SHIARIS, M.P.; COLÓN-CARMONA, A. Influence of *Arabidopsis thaliana* accessions on rhizobacterial communities and natural variation in root exudates. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 6, p.1-14, 2009.

MIRANDA, R.S. O agronegócio da soja no brasil: do estado ao capital privado. **Norus**, Campina Grande, v. 1, n. 2, p. 122-141, jun. 2014.

MONTAÑEZ, A.; BLANCO, A.R.; BARLOCCO, C.; BERACOCHEA, M.; SICARDI, M. Characterization of cultivable putative endophytic plant growth promoting bacteria associated with maize cultivars (*Zea mays L.*) and their inoculation effects in vitro. **Applied Soil Ecology**, v. 58, p. 21-28, 2012.

MUSIL, K.M. **Evaluations of biological control agents for the management of soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) in soybean (*Glycine max L. Merr.*)**. 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) - University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, USA, 2016.

NAHAS, E. Solubilização microbiana de fosfatos e de outros elementos. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, MG: SBCS; Lavras: UFLA, p. 467-486, 1999.

NANAMORI, M.; SHIMANO, T.; WASAKI, J.; YAMAMURA, T.; RAO, I.M.; OSAKI, M. Low phosphorus tolerance mechanisms: phosphorus recycling and photosynthate partitioning in tropical forage grass, *Brachiaria* hybrid cultivar mulato compared with rice. **Plant & Cell Physiology**, v. 45, n. 4, p. 460-469, 2004.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de solos (SBCS), 2007.

OLIVEIRA, C.A.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; MATTOS, B.B.; SANTOS, F.C.; OLIVEIRA M.C.; ALVES, V.M.C. **Metodologia de aplicação de microrganismos solubilizadores de fósforo em sementes visando melhor aproveitamento deste nutriente pelas plantas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 88), p. 25, 2013.

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

OLIVEIRA, C.A.; COTA, L.V.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; SOUSA, S.M.; LANA, U.G.P.; SANTOS, F.C.; PINTO JUNIOR, A.S.; ALVES, V.M.C. **Viabilidade Técnica e Econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas Culturas de Milho e Soja**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210), p.17, 2020.

OLIVEIRA, I.P. de; THUNG, M.D.T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M. J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 589, 1988.

OSÓRIO, J.; OSÓRIO, M.L.; CHAVES, M.M.; PEREIRA, J.S. Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, Victoria, v. 18, n. 6, p. 363-373, 1998.

PANTANO, G.; GROSSELI, G.M.; MOZETO, A.A.; FADINI, P.S. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. **Química Nova**, v. 39, n. 6, p. 732-740, 2016.

PENATTI, C.P. **Adubação da cana-de-açúcar: 30 anos de experiência**. Itu: Otoni, 2013.

PERES, L.E.P.; KERBAUY, G.B. **Controle hormonal do desenvolvimento das raízes**. *Universa*, v. 8, p. 181-195, 2000.

PIROLLA, M.L.; BENTO, R.M. **O Brasil e a soja: sua história e as implicações na economia brasileira**. 2008. TCC (Graduação em Administração) - Centro Universitário Eurípides de Marília, São Paulo, 2008.

PIVATO, B.; MAZURIER, S.; LEMANCEAU P.; SIBLOT, S.; BERTA, G.; MOUGEL, C.; VAN TUINEN, D. Medicago species affect the community composition of arbuscular mycorrhizal fungi associated with roots. **New Phytologist**, v. 176, p. 197-210, 2007.

RAPOSO, R.W.C.; MURAOKA, T.; BASSO L.C.; LAVRES JUNIOR J.; FRANZINI V.I. Acid phosphatase activity and leaf phosphorus content in soybean cultivars. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 61, n. 4, p. 439-445, 2004.

REETZ, A.F.J. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. São Paulo: Associação Nacional Para Difusão de Adubos (ANDA), 2017.

RENGEL, Z. Genotypic differences in micronutrient use efficiency in crops. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p.1163-1186, 2001.

RENGEL, Z.; MARSCHNER, P. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. **New Phytologist**, v. 168, n. 2, p. 305-312, 2005.

RIBEIRO, V.P.; MARRIEL, I.E.; SOUSA, S.M.; LANA, U.G.P.; MATTOS, B.B.; PAIVA, C.A.O.; GOMES, E.A. Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, p. 40-46, 2018.

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

RIPLEY, B.S.; REDFERN, S.P.; DAMES, J. Quantification of the photosynthetic performance of phosphorus-deficient Sorghum by means of chlorophyll-a fluorescence kinetics. **South African Journal of Science**, v. 100, n. 11, p. 615-618, 2004.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops?**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, p. 26, (Special Report, 48), 1993.

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

ROLIM NETO, F.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; COSTA, L.M.; CORRÊA, M.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; IBRAIMO, M.M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 953-964, 2004.

SÁ, T.M., ISRAEL, D.W. Energy status and functioning of phosphorus-deficient soybean nodules. **Plant Physiology**, v. 97, n. 4, p. 928-935, 1991.

SCHUMACHER, M.V.; CECONI, D.E.; SANTANA, A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.

SEKIYA, N.; YANO, K. Stomatal density of cowpea correlates with carbon isotope discrimination in different phosphorus, water and CO₂ environments. **New Phytologist**, Oxford, v. 179, n. 3, p. 799-807, 2008.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, p. 289-302, 1981.

SILVA, F.D.S. **Caracterização de genótipos de soja quanto à eficiência de uso de fósforo**. 2016. f. 29. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SILVA, J.T. **Azospirillum brasilense e Bacillus subtilis solubilizadores de fósforo em mudas de eucalipto**. 2017. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal- SP, 2017.

SILVA, M.R.R.; IGNACIO, L.A.P.; SILVA, G.A. Desenvolvimento de mudas de maracujá amarelo em função de diferentes doses fósforo reativo. **Revista de Agronegócio**- Reagro, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 41-50, 2017.

SLEPECKY, R.A.; HEMPHILL, H.E. The Genus *Bacillus*—Nonmedical. In: Dworkin M., Falkow S., Rosenberg E., Schleifer KH., Stackebrandt E. **The Prokaryotes**, v. 4, p. 530-562, 2006.

SMITH F.W.; JACKSON W.A.; BERG P.J.V. Fluxos internos de fósforo durante o desenvolvimento de estresse de fósforo em *Stylosanthes hamata*. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 4, p. 451-464, 1990.

SOBRAL, J.K.; ARAÚJO, W.L.; MENDES, R.; GERALDI, I.O.; PIZZIRANI-KLEINER, A.A.; AZEVEDO, J. L. Isolation and characterization of soybean- associated bacteria and their potential for plant growth promotion. **Environmental Microbiology**, v. 6, n. 12, p. 1244-1251, 2004.

SOUSA, S.M.; OLIVEIRA, C.A.; ANDRADE, D.L.; CARVALHO, C.G.; RIBEIRO, V.P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I.E.; LANA, U.G.P.; GOMES, E. A. Tropical Bacillus strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 1, p. 1-11, 2020.

SULIEMAN, S.; FISCHINGER, S.; SCHULZE, J. N-feedback regulation of N₂ fixation in *Medicago truncatula* under P-deficiency. **General and Applied Plant Physiology**, v. 34, p. 33- 54, 2008.

TABALDI, L.A.; RUPPENTHAL, R.; CARGNELUTTI, D.; MORSCH, V. M.; PEREIRA, L.B.; SCHETINGER, M.R.C. Effects of metal elements on acid phosphatase activity in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 43-48, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Editora Artmed, p. 918, 2013.

TAURIAN, T.; ANZUAY, M. S.; ANGELINI, J. G.; TONELLI, M. L.; LUDUEÑA, L.; PENA, D.; FABRA, A. Phosphate-solubilizing peanut associated bacteria: screening for plant growth-promoting activities. **Plant and soil**, v. 329, n. 1, p. 421-431, 2010.

TAVANTI, T.R.; TAVANTI, R.F.R.; GALINDO, F. S.; SIMÕES, I.; DAMETO, L.S.; SÁ, M.E. Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 65-71, 2020.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BIASSANI, C.A. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174 p. (Boletim Técnico, 5), 1995.

THOMAS, D.S.; MONTAGU, K.D.; CONROY, J.P. Leaf inorganic phosphorus as a potential indicator of phosphorus status, photosynthesis and growth of *Eucalyptus grandis* seedlings. **Forest ecology management**, v. 223, p. 267-274, 2006.

THOMSON, J.R.; BELL, R.W.; BOLLAND, M.D.A. Low seed phosphorus concentration depress early growth and nodulation of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* cv. Gungurro). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 15, n. 8, p.1193-1214, 1992.

VALADÃO JÚNIOR, D.D.; BERGAMIN, A.C.; VENTUROSO, L.R.; SCHLINDWEIN, J.A.; CARON, B.O.; SCHMIDT, D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 3, p. 369-375, 2008.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN D.L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003.

VEDELAGO, A. **Adubação para a soja em terras baixas drenadas no Rio Grande do Sul**. 2014. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

WANG, B.; QIU, Y-L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. **Mycorrhiza**, v. 16, p. 299-363, 2006.

WANG, H.; INUKAI, Y.; YAMAUCHI, A. Root Development and Nutrient Uptake. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 25, n. 3, p. 279-301, 2006.

WARREN, C.R. How does P affect photosynthesis and metabolite profiles of *Eucalyptus globules*? **Tree Physiology**, Victoria, v. 31, n. 7, p. 727-739, 2011.

WIELAND, G.; NEUMANN, R.; BACKHAUS, H. Variation of microbial communities in soil, rhizosphere, and rhizoplane in response to crop species, soil type, and crop development. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 67, n. 12, p. 5849-5854, 2001.

WYCISZKIEWICZ, M.; SAEID, A.; CHOJNACKA, K. In situ solubilization of phosphorus-bearing raw materials by *Bacillus megaterium*. **Engineering In Life Sciences**, Breslávia, v. 17, n. 7, p. 749-758, 2017.

ZHANG, T.; HU, Y.; ZHANG, K.; TIAN, C.; GUOA, J. Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. **Industrial Crops and Products**, v. 117, p. 13-19, 2018.

ZHOU, T.; DU, Y.; AHMED, S.; LIU, T.; REN, M.; LIU, W.; YANG, W. Genotypic differences in phosphorus efficiency and the performance of physiological characteristics in response to low phosphorus stress of soybean in southwest of China. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 1776, 2016.

APÊNDICES

Apêndice A – Análise de Variância (ANOVA) para variável estatura de plantas de soja no estágio V4.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	31,20835	31,20835	17,6348	1,00E-04
INOCULANTE	1	3,43068	3,43068	1,9386	0,169
DOSE_P	4	633,1826	158,2957	89,4478	0
SOLO*INOCULANTE	1	0,30835	0,30835	0,1742	0,6779
SOLO*DOSE_P	4	35,19381	8,79845	4,9717	0,0016
INOCULANTE*DOSE_P	4	16,63897	4,15974	2,3505	0,0642
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	17,08547	4,27137	2,4136	0,0587
Residuo	60	106,1819	1,7697		
Total	79	843,2302			
CV (%)	6,12				

Apêndice B – Análise de Variância (ANOVA) para a variável estatura de plantas de soja no estágio R2.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	644,1125	644,1125	65,9251	0
INOCULANTE	1	0,35556	0,35556	0,0364	0,8494
DOSE_P	4	3785,712	946,428	96,8672	0
SOLO*INOCULANTE	1	14,16806	14,16806	1,4501	0,2332
SOLO*DOSE_P	4	256,6618	64,16545	6,5674	2,00E-04
INOCULANTE*DOSE_P	4	143,4743	35,86858	3,6712	0,0097
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	70,90486	17,72622	1,8143	0,1379
Residuo	60	586,2222	9,77037		
Total	79	5501,611			
CV (%)	5,61				

Apêndice C – Análise de Variância (ANOVA) para a variável estatura de plantas de soja no estágio R5.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	3293,461	3293,461	122,4436	0
INOCULANTE	1	0,40612	0,40612	0,0151	0,9026
DOSE_P	4	4577,606	1144,401	42,5463	0
SOLO*INOCULANTE	1	2,21113	2,21113	0,0822	0,7753
SOLO*DOSE_P	4	447,8508	111,9627	4,1625	0,0048
INOCULANTE*DOSE_P	4	110,7058	27,67644	1,0289	0,3998
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	104,5258	26,13144	0,9715	0,4299
Residuo	60	1613,868	26,89779		
Total	79	10150,63			
CV (%)	5,94				

Apêndice D – Análise de Variância (ANOVA) para a variável área foliar

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	1,09E+06	1085943	12,8428	7,00E-04
INOCULANTE	1	2,44E+03	2441,608	0,0289	0,8656
DOSE_P	4	8,53E+06	2131743	25,2109	0
SOLO*INOCULANTE	1	4,20E+02	419,8945	0,005	0,9441
SOLO*DOSE_P	4	4,61E+05	115228,8	1,3627	0,2576
INOCULANTE*DOSE_P	4	7,80E+05	195089,2	2,3072	0,0684
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	1,56E+05	38940,38	0,4605	0,7644
Residuo	60	5,07E+06	84556,41		
Total	79	1,61E+07			
CV (%)	17,5				

Apêndice E – Análise de Variância (ANOVA) para a variável massa seca de parte aérea

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	115,0493	115,0493	30,2347	0
INOCULANTE	1	2,26027	2,26027	0,594	0,4439
DOSE_P	4	717,8298	179,4575	47,161	0
SOLO*INOCULANTE	1	2,40575	2,40575	0,6322	0,4297
SOLO*DOSE_P	4	40,24107	10,06027	2,6438	0,0422
INOCULANTE*DOSE_P	4	38,88016	9,72004	2,5544	0,0479
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	10,60971	2,65243	0,6971	0,597
Residuo	60	228,3125	3,80521		
Total	79	1155,589			
CV (%)	16,88				

Apêndice F – Análise de Variância (ANOVA) para a variável massa seca de raiz

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	2,30948	2,30948	6,7366	0,0119
INOCULANTE	1	0,01622	0,01622	0,0473	0,8285
DOSE_P	4	65,11295	16,27824	47,4825	0
SOLO*INOCULANTE	1	0,05722	0,05722	0,1669	0,6843
SOLO*DOSE_P	4	5,72786	1,43197	4,1769	0,0047
INOCULANTE*DOSE_P	4	2,55656	0,63914	1,8643	0,1285
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	2,54937	0,63734	1,8591	0,1294
Residuo	60	20,56957	0,34283		
Total	79	98,89924			
CV (%)	20,06				

Apêndice G – Análise de Variância (ANOVA) para a variável razão parte aérea/raiz

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	3,08344	3,08344	10,8444	0,0017
INOCULANTE	1	0,45035	0,45035	1,5839	0,2131
DOSE_P	4	15,09353	3,77338	13,271	0
SOLO*INOCULANTE	1	0,00664	0,00664	0,0233	0,8791
SOLO*DOSE_P	4	5,38615	1,34654	4,7358	0,0022
INOCULANTE*DOSE_P	4	0,11011	0,02753	0,0968	0,9831
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	1,48453	0,37113	1,3053	0,2783
Residuo	60	17,06002	0,28433		
Total	79	42,67478			
CV (%)	12,87				

Apêndice H – Análise de Variância (ANOVA) para a variável atividade da fosfatase ácida na parte aérea

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	647451,1	647451,1	50,4008	0
INOCULANTE	1	23677,87	23677,87	1,8432	0,1797
DOSE_P	4	194777,8	48694,44	3,7906	0,0082
SOLO*INOCULANTE	1	92885,04	92885,04	7,2306	0,0093
SOLO*DOSE_P	4	101508,1	25377,01	1,9755	0,1098
INOCULANTE*DOSE_P	4	30026,77	7506,691	0,5844	0,6752
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	146947,3	36736,82	2,8598	0,0309
Residuo	60	770763,5	12846,06		
Total	79	2008037			
CV (%)	15,12				

Apêndice I – Análise de Variância (ANOVA) para a variável atividade da fosfatase ácida na raiz

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	157565,9	157565,9	27,4027	0
INOCULANTE	1	158209,1	158209,1	27,5146	0
DOSE_P	4	195532,6	48883,15	8,5014	0
SOLO*INOCULANTE	1	5520,998	5520,998	0,9602	0,3311
SOLO*DOSE_P	4	63945,09	15986,27	2,7802	0,0347
INOCULANTE*DOSE_P	4	15917,71	3979,427	0,6921	0,6003
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	111103,7	27775,92	4,8306	0,0019
Residuo	60	345000,7	5750,012		
Total	79	1052796			
CV (%)	19				

Apêndice J – Análise de Variância (ANOVA) para a variável concentração de Carotenoides

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,0038	0,0038	2,5667	0,1144
INOCULANTE	1	0,00008	8,00E-05	0,0529	0,8189
DOSE_P	4	0,02388	0,00597	4,037	0,0058
SOLO*INOCULANTE	1	0,00086	0,00086	0,5841	0,4477
SOLO*DOSE_P	4	0,00804	0,00201	1,3583	0,2591
INOCULANTE*DOSE_P	4	0,00185	0,00046	0,3126	0,8685
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	0,02149	0,00537	3,6323	0,0102
Residuo	60	0,08874	0,00148		
Total	79	0,14874			
CV (%)	9,43				

Apêndice K – Análise de Variância (ANOVA) para a variável clorofila total

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,48345	0,48345	2,7384	0,1032
INOCULANTE	1	0,35792	0,35792	2,0274	0,1597
DOSE_P	4	2,26579	0,56645	3,2086	0,0187
SOLO*INOCULANTE	1	0,00219	0,00219	0,0124	0,9116
SOLO*DOSE_P	4	1,0146	0,25365	1,4368	0,2329
INOCULANTE*DOSE_P	4	0,34803	0,08701	0,4928	0,741
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	2,18041	0,5451	3,0876	0,0223
Residuo	60	10,59256	0,17654		
Total	79	17,24494			
CV (%)	11,88				

Apêndice L – Análise de Variância (ANOVA) para a variável clorofila a

FONTE DE VARIACÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,00073	0,00073	0,0413	0,8397
INOCULANTE	1	0,0259	0,0259	1,4676	0,2305
DOSE_P	4	0,25317	0,06329	3,5866	0,0109
SOLO*INOCULANTE	1	0,00001	1,00E-05	3,00E-04	0,9853
SOLO*DOSE_P	4	0,09258	0,02314	1,3115	0,276
INOCULANTE*DOSE_P	4	0,03772	0,00943	0,5343	0,711
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	0,24744	0,06186	3,5054	0,0123
Residuo	60	1,05882	0,01765		
Total	79	1,71636			
CV (%)	8,65				

Apêndice M – Análise de Variância (ANOVA) para a variável clorofila *b*

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,04498	0,04498	3,6559	0,0606
INOCULANTE	1	0,00187	0,00187	0,1522	0,6979
DOSE_P	4	0,21944	0,05486	4,4586	0,0032
SOLO*INOCULANTE	1	0,00016	0,00016	0,013	0,9097
SOLO*DOSE_P	4	0,1306	0,03265	2,6535	0,0416
INOCULANTE*DOSE_P	4	0,00976	0,00244	0,1983	0,9383
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	0,081	0,02025	1,6459	0,1746
Residuo	60	0,73825	0,0123		
Total	79	1,22606			
CV (%)	25,88				

Apêndice N – Análise de Variância (ANOVA) para a variável produção de grãos

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	707,812	707,812	207,8016	0
INOCULANTE	1	2,03522	2,03522	0,5975	0,4426
DOSE_P	4	369,078	92,2695	27,0888	0
SOLO*INOCULANTE	1	0,05305	0,05305	0,0156	0,9011
SOLO*DOSE_P	4	5,21198	1,303	0,3825	0,8203
INOCULANTE*DOSE_P	4	33,97318	8,4933	2,4935	0,0523
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	26,16586	6,54146	1,9205	0,1187
Residuo	60	204,3715	3,40619		
Total	79	1348,701			
CV (%)	6,01				

Apêndice O – Análise de Variância (ANOVA) para a variável número de grãos

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	41815,51	41815,51	101,0392	0
INOCULANTE	1	437,1125	437,1125	1,0562	0,3082
DOSE_P	4	20322,08	5080,519	12,2761	0
SOLO*INOCULANTE	1	17,1125	17,1125	0,0413	0,8396
SOLO*DOSE_P	4	3739,175	934,7938	2,2588	0,0733
INOCULANTE*DOSE_P	4	1701,325	425,3313	1,0277	0,4004
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	853,825	213,4563	0,5158	0,7244
Residuo	60	24831,25	413,8542		
Total	79	93717,39			
CV (%)	11,21				

Apêndice P – Análise de Variância (ANOVA) para a variável peso de mil grãos

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	1313,566	1313,566	9,6211	0,0029
INOCULANTE	1	180,3564	180,3564	1,321	0,255
DOSE_P	4	854,0616	213,5154	1,5639	0,1956
SOLO*INOCULANTE	1	7,1318	7,1318	0,0522	0,82
SOLO*DOSE_P	4	2740,097	685,0243	5,0174	0,0015
INOCULANTE*DOSE_P	4	248,7107	62,17767	0,4554	0,7681
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	402,5748	100,6437	0,7372	0,5703
Residuo	60	8191,758	136,5293		
Total	79	13938,26			
CV (%)	6,82				

Apêndice Q – Análise de Variância (ANOVA) para a variável vigor de sementes

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	78,0125	78,01250	39,5835	0,0000
INOCULANTE	1	6,6125	6,61250	3,3552	0,0720
DOSE_P	4	27,4250	6,85625	3,4789	0,0127
SOLO*INOCULANTE	1	0,6125	0,61250	0,3108	0,5793
SOLO*DOSE_P	4	59,1750	14,79375	7,5063	1,00E-04
INOCULANTE*DOSE_P	4	3,3250	0,83125	0,4218	0,7923
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	15,5750	3,89375	1,9757	0,1097
Residuo	60	118,2500	1,97083		
Total	79	308,9875			
CV (%)	1,43				

Apêndice R – Análise de Variância (ANOVA) para a variável taxa de assimilação líquida no estágio V4

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,63839	0,63839	0,2618	0,6136
INOCULANTE	1	0,50803	0,50803	0,2083	0,6522
DOSE_P	2	91,97554	45,98777	18,8591	0
SOLO*INOCULANTE	1	9,44662	9,44662	3,874	0,0607
SOLO*DOSE_P	2	5,70731	2,85365	1,1703	0,3274
INOCULANTE*DOSE_P	2	51,38445	25,69223	10,5361	5,00E-04
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	13,02876	6,51438	2,6715	0,0896
Residuo	24	58,52369	2,43849		
Total	35	231,2128			
CV (%)	7,71				

Apêndice S – Análise de Variância (ANOVA) para a variável taxa de assimilação líquida no estádio R2

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	20,05659	20,05659	7,1066	0,0135
INOCULANTE	1	31,19479	31,19479	11,0532	0,0028
DOSE_P	2	112,6482	56,32412	19,9573	0
SOLO*INOCULANTE	1	12,21479	12,21479	4,3281	0,0483
SOLO*DOSE_P	2	6,51804	3,25902	1,1548	0,332
INOCULANTE*DOSE_P	2	5,46782	2,73391	0,9687	0,3939
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	5,79539	2,8977	1,0267	0,3734
Residuo	24	67,73356	2,82223		
Total	35	261,6292			
CV (%)	8,91				

Apêndice T – Análise de Variância (ANOVA) para a variável taxa de assimilação líquida no estádio R5

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	7,26304	7,26304	1,0652	0,3123
INOCULANTE	1	19,46061	19,46061	2,854	0,1041
DOSE_P	2	187,4821	93,74105	13,7477	1,00E-04
SOLO*INOCULANTE	1	3,53147	3,53147	0,5179	0,4787
SOLO*DOSE_P	2	108,3333	54,16663	7,9439	0,0023
INOCULANTE*DOSE_P	2	4,09148	2,04574	0,3	0,7435
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	13,75805	6,87903	1,0089	0,3796
Residuo	24	163,6483	6,81868		
Total	35	507,5683			
CV (%)	12,97				

Apêndice U – Análise de Variância (ANOVA) para a variável condutância estomática no estádio V4

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,00015	0,00015	0,0499	0,8252
INOCULANTE	1	0,00182	0,00182	0,5919	0,4492
DOSE_P	2	0,01463	0,00731	2,3775	0,1143
SOLO*INOCULANTE	1	0,00152	0,00152	0,495	0,4885
SOLO*DOSE_P	2	0,00346	0,00173	0,5629	0,5769
INOCULANTE*DOSE_P	2	0,01885	0,00942	3,063	0,0653
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	0,02769	0,01385	4,5005	0,0219
Residuo	24	0,07384	0,00308		
Total	35	0,14197			
CV (%)	12,13				

Apêndice V – Análise de Variância (ANOVA) para a variável condutância estomática no estádio R2

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,00001	1,00E-05	0,0021	0,9636
INOCULANTE	1	0,01915	0,01915	2,7277	0,1116
DOSE_P	2	0,00257	0,00129	0,1832	0,8338
SOLO*INOCULANTE	1	0	0	2,00E-04	0,9895
SOLO*DOSE_P	2	0,01851	0,00925	1,3179	0,2864
INOCULANTE*DOSE_P	2	0,02152	0,01076	1,5328	0,2363
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	0,01145	0,00572	0,8153	0,4544
Residuo	24	0,16851	0,00702		
Total	35	0,24173			
CV (%)	18,56				

Apêndice W – Análise de Variância (ANOVA) para a variável Condutância estomática no estádio R5

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,01221	0,01221	1,5048	0,2318
INOCULANTE	1	0,00193	0,00193	0,2382	0,63
DOSE_P	2	0,15294	0,07647	9,4234	0,001
SOLO*INOCULANTE	1	0,0133	0,0133	1,6391	0,2127
SOLO*DOSE_P	2	0,09749	0,04875	6,0072	0,0077
INOCULANTE*DOSE_P	2	0,00751	0,00375	0,4626	0,6351
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	0,00344	0,00172	0,2119	0,8106
Residuo	24	0,19475	0,00811		
Total	35	0,48358			
CV (%)	18,02				

Apêndice X – Análise de Variância (ANOVA) para a variável concentração intercelular de CO₂ no estádio V4

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	103,4807	103,4807	0,8453	0,367
INOCULANTE	1	14,44531	14,44531	0,118	0,7342
DOSE_P	2	1180,105	590,0524	4,8201	0,0174
SOLO*INOCULANTE	1	71,47826	71,47826	0,5839	0,4522
SOLO*DOSE_P	2	36,07907	18,03953	0,1474	0,8638
INOCULANTE*DOSE_P	2	311,9521	155,976	1,2742	0,2979
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	257,9517	128,9759	1,0536	0,3643
Residuo	24	2937,952	122,4147		
Total	35	4913,444			
CV (%)	4,02				

Apêndice Y – Análise de Variância (ANOVA) para a variável concentração intercelular de CO₂ no estádio R2

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	1881,333	1881,333	2,2929	0,143
INOCULANTE	1	765,4835	765,4835	0,9329	0,3437
DOSE_P	2	7575,48	3787,74	4,6164	0,0201
SOLO*INOCULANTE	1	1235,963	1235,963	1,5064	0,2316
SOLO*DOSE_P	2	1354,254	677,127	0,8253	0,4502
INOCULANTE*DOSE_P	2	2399,805	1199,902	1,4624	0,2516
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	729,318	364,659	0,4444	0,6464
Residuo	24	19692,01	820,5006		
Total	35	35633,65			
CV (%)	10,29				

Apêndice Z – Análise de Variância (ANOVA) para variável concentração intercelular de CO₂ no estádio R5

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	1174,614	1174,614	7,5695	0,0111
INOCULANTE	1	524,1269	524,1269	3,3776	0,0785
DOSE_P	2	253,8692	126,9346	0,818	0,4532
SOLO*INOCULANTE	1	8,43806	8,43806	0,0544	0,8176
SOLO*DOSE_P	2	245,7903	122,8951	0,792	0,4644
INOCULANTE*DOSE_P	2	28,56265	14,28132	0,092	0,9124
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	96,48771	48,24385	0,3109	0,7357
Residuo	24	3724,262	155,1776		
Total	35	6056,151			
CV (%)	4,43				

Apêndice AA – Análise de Variância (ANOVA) para a variável taxa de transpiração no estádio V4

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,63839	0,63839	0,2618	0,6136
INOCULANTE	1	0,50803	0,50803	0,2083	0,6522
DOSE_P	2	91,97554	45,98777	18,8591	0
SOLO*INOCULANTE	1	9,44662	9,44662	3,874	0,0607
SOLO*DOSE_P	2	5,70731	2,85365	1,1703	0,3274
INOCULANTE*DOSE_P	2	51,38445	25,69223	10,5361	5,00E-04
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	13,02876	6,51438	2,6715	0,0896
Residuo	24	58,52369	2,43849		
Total	35	231,2128			
CV (%)	7,71				

Apêndice AB – Análise de Variância (ANOVA) para a variável taxa de transpiração no estádio R2

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	20,05659	20,05659	7,1066	0,0135
INOCULANTE	1	31,19479	31,19479	11,0532	0,0028
DOSE_P	2	112,6482	56,32412	19,9573	0
SOLO*INOCULANTE	1	12,21479	12,21479	4,3281	0,0483
SOLO*DOSE_P	2	6,51804	3,25902	1,1548	0,332
INOCULANTE*DOSE_P	2	5,46782	2,73391	0,9687	0,3939
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	5,79539	2,8977	1,0267	0,3734
Residuo	24	67,73356	2,82223		
Total	35	261,6292			
CV (%)	8,91				

Apêndice AC – Análise de Variância (ANOVA) para a variável taxa de transpiração CO₂ no estádio R5

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	7,26304	7,26304	1,0652	0,3123
INOCULANTE	1	19,46061	19,46061	2,854	0,1041
DOSE_P	2	187,4821	93,74105	13,7477	1,00E-04
SOLO*INOCULANTE	1	3,53147	3,53147	0,5179	0,4787
SOLO*DOSE_P	2	108,3333	54,16663	7,9439	0,0023
INOCULANTE*DOSE_P	2	4,09148	2,04574	0,3	0,7435
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	13,75805	6,87903	1,0089	0,3796
Residuo	24	163,6483	6,81868		
Total	35	507,5683			
CV (%)	12,97				

Apêndice AD – Análise de Variância (ANOVA) para a variável eficiência de uso da água no estádio V4

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,00134	0,00134	0,0197	0,8896
INOCULANTE	1	0,00098	0,00098	0,0144	0,9056
DOSE_P	2	0,33663	0,16832	2,4775	0,1052
SOLO*INOCULANTE	1	0,20297	0,20297	2,9875	0,0968
SOLO*DOSE_P	2	0,17623	0,08812	1,297	0,2918
INOCULANTE*DOSE_P	2	0,38557	0,19278	2,8376	0,0783
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	0,04104	0,02052	0,3021	0,7421
Residuo	24	1,63052	0,06794		
Total	35	2,77527			
CV (%)	4,95				

Apêndice AE – Análise de Variância (ANOVA) para a variável eficiência de uso da água no estádio R2

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,00134	0,00134	0,0197	0,8896
INOCULANTE	1	0,00098	0,00098	0,0144	0,9056
DOSE_P	2	0,33663	0,16832	2,4775	0,1052
SOLO*INOCULANTE	1	0,20297	0,20297	2,9875	0,0968
SOLO*DOSE_P	2	0,17623	0,08812	1,297	0,2918
INOCULANTE*DOSE_P	2	0,38557	0,19278	2,8376	0,0783
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	0,04104	0,02052	0,3021	0,7421
Residuo	24	1,63052	0,06794		
Total	35	2,77527			
CV (%)	9,45				

Apêndice AF – Análise de Variância (ANOVA) para a variável eficiência de uso da água no estádio R5

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,03438	0,03438	0,2572	0,6167
INOCULANTE	1	0,02025	0,02025	0,1515	0,7006
DOSE_P	2	0,94308	0,47154	3,5273	0,0454
SOLO*INOCULANTE	1	0,04454	0,04454	0,3332	0,5692
SOLO*DOSE_P	2	0,19378	0,09689	0,7248	0,4947
INOCULANTE*DOSE_P	2	0,00183	0,00092	0,0068	0,9932
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	0,04296	0,02148	0,1607	0,8525
Residuo	24	3,20839	0,13368		
Total	35	4,48923			
CV (%)	11,68				

Apêndice AG – Análise de Variância (ANOVA) para a variável eficiência instantânea de carboxilação no estádio V4

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,00004	4,00E-05	0,632	0,4344
INOCULANTE	1	0,00001	1,00E-05	0,133	0,7186
DOSE_P	2	0,00185	0,00092	16,6864	0
SOLO*INOCULANTE	1	0,00019	0,00019	3,4887	0,074
SOLO*DOSE_P	2	0,00009	5,00E-05	0,8549	0,4379
INOCULANTE*DOSE_P	2	0,00089	0,00044	8,0258	0,0021
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	0,00016	8,00E-05	1,4159	0,2623
Residuo	24	0,00133	6,00E-05		
Total	35	0,00455			
CV (%)	10,48				

Apêndice AH – Análise de Variância (ANOVA) para a variável eficiência instantânea de carboxilação no estádio R2

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,00179	0,00179	2,8822	0,1025
INOCULANTE	1	0,00179	0,00179	2,8939	0,1018
DOSE_P	2	0,00607	0,00304	4,9025	0,0164
SOLO*INOCULANTE	1	0,00134	0,00134	2,1561	0,155
SOLO*DOSE_P	2	0,00134	0,00067	1,0836	0,3544
INOCULANTE*DOSE_P	2	0,00147	0,00074	1,1878	0,3222
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	0,00133	0,00067	1,0754	0,357
Residuo	24	0,01486	0,00062		
Total	35	0,03			
CV (%)	35,1				

Apêndice AI – Análise de Variância (ANOVA) para a variável eficiência instantânea de carboxilação no estádio R5

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,00036	0,00036	2,6148	0,1189
INOCULANTE	1	0,00045	0,00045	3,2955	0,082
DOSE_P	2	0,00287	0,00143	10,4617	5,00E-04
SOLO*INOCULANTE	1	0,00003	3,00E-05	0,2332	0,6336
SOLO*DOSE_P	2	0,00164	0,00082	6,0024	0,0077
INOCULANTE*DOSE_P	2	0,00005	2,00E-05	0,1744	0,841
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	2	0,0003	0,00015	1,098	0,3497
Residuo	24	0,00329	0,00014		
Total	35	0,00899			
CV (%)	16,42				

Apêndice AJ – Análise de Variância (ANOVA) para a variável comprimento de raiz

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	59287304	59287304	2,2113	0,1422
INOCULANTE	1	698761,4	698761,4	0,0261	0,8723
DOSE_P	4	2,09E+09	5,22E+08	19,4875	0
SOLO*INOCULANTE	1	68474956	68474956	2,554	0,1153
SOLO*DOSE_P	4	3,9E+08	97517178	3,6373	0,0102
INOCULANTE*DOSE_P	4	2,09E+08	52267300	1,9495	0,1139
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	55432662	13858165	0,5169	0,7236
Residuo	60	1,61E+09	26810674		
Total	79	4,48E+09			
CV (%)	27,08				

Apêndice AK – Análise de Variância (ANOVA) para a variável área de raiz

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	1024346	1024346	2,0647	0,1559
INOCULANTE	1	36324,79	36324,79	0,0732	0,7876
DOSE_P	4	42268246	10567062	21,2992	0
SOLO*INOCULANTE	1	612797,4	612797,3	1,2352	0,2708
SOLO*DOSE_P	4	7289503	1822376	3,6732	0,0097
INOCULANTE*DOSE_P	4	3755272	938818,1	1,8923	0,1235
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	877204,5	219301,1	0,442	0,7777
Residuo	60	29767516	496125,3		
Total	79	85631210			
CV (%)	26,4				

Apêndice AL – Análise de Variância (ANOVA) para a variável volume de raiz

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	110,7135	110,7135	1,7441	0,1916
INOCULANTE	1	8,00889	8,00889	0,1262	0,7237
DOSE_P	4	5467,409	1366,852	21,5324	0
SOLO*INOCULANTE	1	18,58202	18,58202	0,2927	0,5905
SOLO*DOSE_P	4	877,6163	219,4041	3,4563	0,0132
INOCULANTE*DOSE_P	4	445,2936	111,3234	1,7537	0,1501
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	96,39251	24,09813	0,3796	0,8223
Residuo	60	3808,724	63,47873		
Total	79	10832,74			
CV (%)	26,76				

Apêndice AM – Análise de Variância (ANOVA) para a variável diâmetro de raiz

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,0112	0,0112	0,0312	0,8603
INOCULANTE	1	0,10145	0,10145	0,2831	0,5966
DOSE_P	4	11,72762	2,9319	8,1818	0
SOLO*INOCULANTE	1	0,19118	0,19118	0,5335	0,468
SOLO*DOSE_P	4	0,3569	0,08922	0,249	0,9092
INOCULANTE*DOSE_P	4	2,0879	0,52198	1,4566	0,2267
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	1,06788	0,26697	0,745	0,5652
Residuo	60	21,50076	0,35835		
Total	79	37,04488			
CV (%)	14,44				

Apêndice AN – Análise de Variância (ANOVA) para a variável teor de fósforo nas folhas

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,15262	0,15262	0,1304	0,7192
INOCULANTE	1	38,69942	38,69942	33,0748	0
DOSE_P	4	74,68303	18,67076	15,9571	0
SOLO*INOCULANTE	1	12,30239	12,30239	10,5143	0,0019
SOLO*DOSE_P	4	17,72091	4,43023	3,7863	0,0082
INOCULANTE*DOSE_P	4	24,74168	6,18542	5,2864	0,001
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	13,31355	3,32839	2,8446	0,0316
Residuo	60	70,20342	1,17006		
Total	79	251,817			
CV (%)	15,56				

Apêndice AO – Análise de Variância (ANOVA) para a variável teor de fósforo nas raízes

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	149,0805	149,0805	253,9351	0
INOCULANTE	1	12,47663	12,47663	21,252	0
DOSE_P	4	6,30832	1,57708	2,6863	0,0397
SOLO*INOCULANTE	1	21,74012	21,74012	37,0309	0
SOLO*DOSE_P	4	21,57046	5,39261	9,1855	0
INOCULANTE*DOSE_P	4	5,94519	1,4863	2,5317	0,0495
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	3,81826	0,95457	1,626	0,1795
Residuo	60	35,22487	0,58708		
Total	79	256,1643			
CV (%)	12,79				

Apêndice AP – Análise de Variância (ANOVA) para a variável eficiência de utilização de fósforo na planta

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	6,07121	6,07121	21,9308	0
INOCULANTE	1	6,41559	6,41559	23,1748	0
DOSE_P	4	56,59455	14,14864	51,1086	0
SOLO*INOCULANTE	1	6,6412	6,6412	23,9898	0
SOLO*DOSE_P	4	5,93165	1,48291	5,3567	9,00E-04
INOCULANTE*DOSE_P	4	8,62481	2,1562	7,7888	0
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	2,29793	0,57448	2,0752	0,0952
Residuo	60	16,61008	0,27683		
Total	79	109,187			
CV (%)	22,55				

Apêndice AQ – Análise de Variância (ANOVA) para a variável eficiência de utilização de fósforo na parte aérea

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	12,24975	12,24975	39,6905	0
INOCULANTE	1	11,61849	11,61849	37,6452	0
DOSE_P	4	46,52472	11,63118	37,6863	0
SOLO*INOCULANTE	1	7,78706	7,78706	25,2309	0
SOLO*DOSE_P	4	8,26437	2,06609	6,6944	2,00E-04
INOCULANTE*DOSE_P	4	11,70953	2,92738	9,485	0
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	4,73843	1,18461	3,8383	0,0076
Residuo	60	18,51791	0,30863		
Total	79	121,4103			
CV (%)	28,89				

Apêndice AR – Análise de Variância (ANOVA) para a variável eficiência de utilização de fósforo nas raízes

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	0,73054	0,73054	32,5126	0
INOCULANTE	1	0,33689	0,33689	14,9934	3,00E-04
DOSE_P	4	1,4052	0,3513	15,6346	0
SOLO*INOCULANTE	1	0,42837	0,42837	19,0644	1,00E-04
SOLO*DOSE_P	4	0,33329	0,08332	3,7083	0,0092
INOCULANTE*DOSE_P	4	0,14736	0,03684	1,6395	0,1761
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	0,02513	0,00628	0,2796	0,8901
Residuo	60	1,34817	0,02247		
Total	79	4,75495			
CV (%)	28,58				

Apêndice AS – Análise de Variância (ANOVA) para a variável eficiência de absorção de fósforo

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	559,8672	559,8672	10,5336	0,0019
INOCULANTE	1	349,8282	349,8282	6,5818	0,0128
DOSE_P	4	4664,103	1166,026	21,9381	0
SOLO*INOCULANTE	1	453,7214	453,7214	8,5365	0,0049
SOLO*DOSE_P	4	1211,283	302,8207	5,6974	6,00E-04
INOCULANTE*DOSE_P	4	319,6173	79,90432	1,5034	0,2126
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	99,82008	24,95502	0,4695	0,7579
Residuo	60	3189,039	53,15065		
Total	79	10847,28			
CV (%)	20,65				

Apêndice AT – Análise de Variância (ANOVA) para a variável teor de fósforo no solo

FONTES DE VARIÇÃO	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
SOLO	1	12060,08	12060,08	959,1455	0
INOCULANTE	1	17,6377	17,6377	1,4027	0,2433
DOSE_P	4	89,48288	22,37072	1,7792	0,1521
SOLO*INOCULANTE	1	15,22462	15,22462	1,2108	0,2777
SOLO*DOSE_P	4	18,39623	4,59906	0,3658	0,8315
INOCULANTE*DOSE_P	4	6,40887	1,60222	0,1274	0,9716
SOLO*INOCULANTE*DOSE_P	4	63,64868	15,91217	1,2655	0,2995
Residuo	40	502,9509	12,57377		
Total	59	12773,83			
CV (%)	8,31				

Apêndice AU - Coleta do Latossolo em lavoura comercial no interior do município de Santo Ângelo/RS (A); Coleta do Argissolo em lavoura comercial no interior do município de São Pedro do Sul/RS (B).



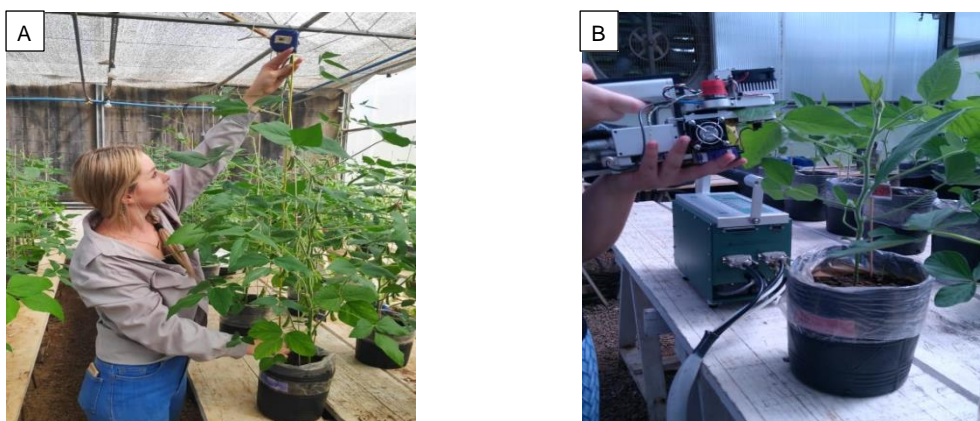
Apêndice AV - Peneiração dos solos (A); Homogeneização dos solos (B).



Apêndice AW - Preparação dos vasos com preenchimento dos solos (A); Adição de fertilizante e sementeira (B).



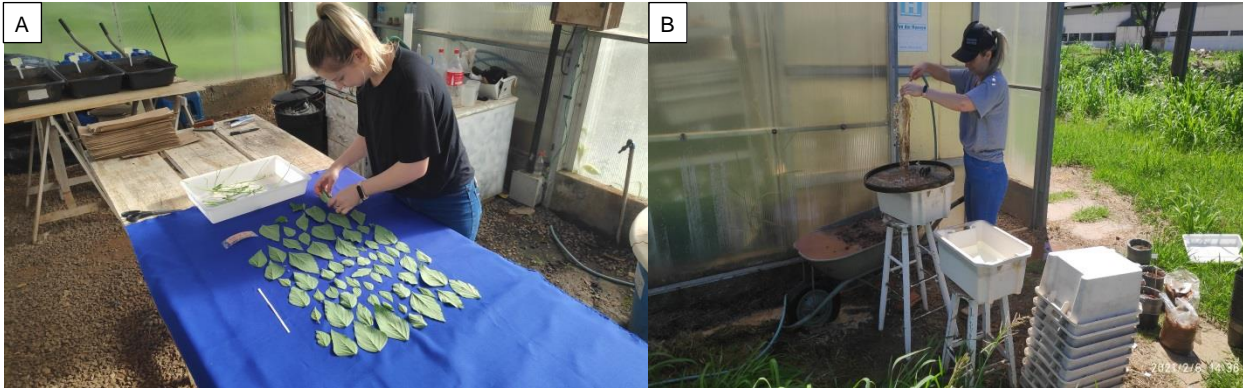
Apêndice AX - Avaliação de estatura das plantas (A); Avaliação dos atributos fisiológicos relacionados ao aparato fotossintético (B).



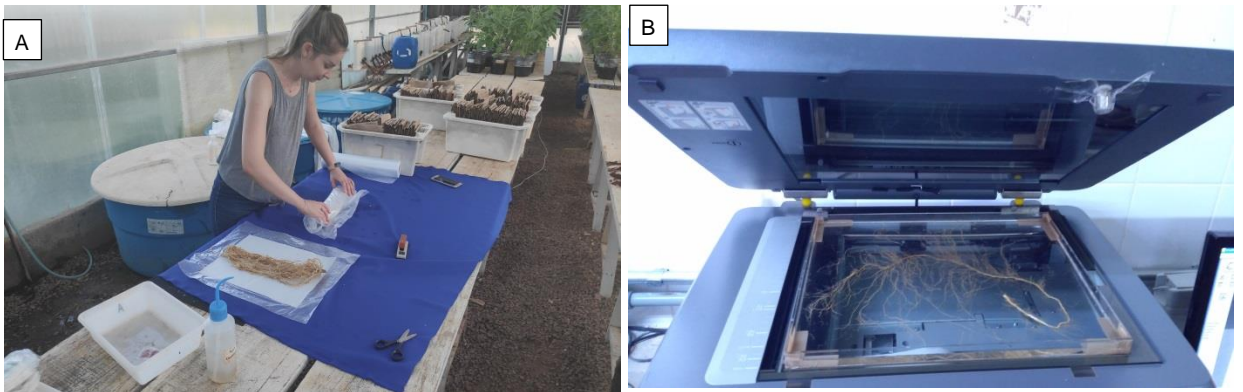
Apêndice AY - Coleta de material para análises da atividade da fosfatase e análise de concentração de pigmentos (A); Análise da concentração de pigmentos em laboratório (B).



Apêndice AZ - Coleta de material para quantificação de área foliar, determinação de massa seca e concentração de P em parte aérea (A); Coleta de material para avaliação da atividade da fosfatase ácida em raiz, avaliação de parâmetros morfológicos do sistema radicular, determinação de massa seca e concentração de P em raiz (B).



Apêndice BA - Raízes condicionadas em papel *germitest* umedecido para posterior análise (A); Análise dos parâmetros morfológicos do sistema radicular (B).



Apêndice BB - Irrigação das plantas através de pesagens (A); Acompanhamento diário do experimento (B).



Apêndice BC - Colheita das vagens ao final do ciclo das plantas (A); Homogeneização dos solos após conclusão do experimento para avaliação do P residual do solo em laboratório.



ANEXOS

Anexo A – Quadro de Análise química e física prévia dos solos

PARÂMETRO		LATOSSOLO	ARGISSOLO
Análise Química			
pH Água		6,4	5,8
Ca	cmol.dm ⁻³	10,1	2,8
Mg		4,1	1,5
Al		0	0
H + Al		1,7	2,5
CTC efetiva		14,7	4,5
Saturação de Al	%	0	0
Saturação de Bases	%	89,5	64,6
Índice SMP		6,8	6,5
Matéria orgânica	%	3,4	1,5
Argila	%	55	19
Textura		2	4
S	mg.dm ⁻³	16,8	15,5
P-Mehlich		4,2	18,4
K	cmol.dm ⁻³	0,45	0,174
CTC pH7		16,4	7
K	mg.dm ⁻³	176	68
Cu	mg.dm ⁻³	23,79	2,26
Zn		15,1	3,53
B		0,87	0,78
Fe		117,6	120
Mn		60,24	36,99
Na		48	32
Ca/Mg		2,5	1,9
(Ca+Mg)/K		31,6	25
K/(Ca+Mg)1/2		0,119	0,083
Análise Física			
Areia	%	11,7	68,2
Silte		42,9	22,9
Argila		45,4	8,8

Anexo B – Laudo de Análise dos microrganismos



LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE MICRORGANISMOS AGRÍCOLAS



LAUDO DE CONTAGEM DE MICRORGANISMOS

INFORMAÇÕES DO CLIENTE - PROTOCOLO Nº 764	
Nome do solicitante: Diego Dalla Favera	
Nome do produtor: NI	
Município: Santa Maria	Email:ddfavera@gmail.com
Celular 1: 55-99961-6530	Celular 2: NI

INFORMAÇÕES DA AMOSTRA	
Identificação da amostra: <i>Bacillus megaterium</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	
Espécie do(s) microrganismo(s) informado pelo solicitante: <i>Bacillus megaterium</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	
Data/hora de entrega no lab: 23/03/2021 - 08h28min	Temp.(°C) da amostra na entrega no lab: 17,5

DADOS DA CONTAGEM	
Metodologia: Diluições seriadas e plaqueamento por <i>spread plate</i>	Meio de cultura: Agar Nutriente
Data e hora do plaqueamento: 23/03/2021 – 10h	pH da amostra: -
Temperatura (°C) de incubação: 28	Tempo (dias) de incubação: 2
Número de microrganismos de interesse: $1,01 \times 10^{10}$ UFC/mL	
Número de outros microrganismos: 0,0 UFC/mL	Emissão do laudo: 25/03/2021
Observações da amostra: Amostra foi entregue no laboratório com temperatura acima da recomendada (4°C).	



- Legenda: NI = não informado; UFC = Unidade Formadora de Colônias; pH = potencial de hidrogênio.
- Os microrganismos de interesse não foram identificados. A morfologia da colônia indica que correspondem aos informados pelo solicitante.
- Este laudo não pode ser utilizado para comercialização de produtos biológicos.
- A retenção da amostra para contraprova é de 5 dias após a emissão do laudo ou de acordo com a validade da amostra.

Responsável Técnico: Rodrigo J. S. Jacques (CREA RS 153492)

MicroBio - Laboratório de Análise de Microrganismos Agrícolas
 Universidade Federal de Santa Maria | Santa Maria - RS
 Telefone: (55) 3220-8108 Ramal 224|Celular/Whatsapp: (55) 9 9954-4846
www.ufsm.br/laboratorios/microbio|e-mail: microbio@ufsm.br