



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

LÍDIA FERREIRA MORAES

INOCULAÇÃO BIOLÓGICA E FERTILIZAÇÃO FOSFATADA:
ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA O CULTIVO SUSTENTÁVEL DA
MANDIOCA BRANQUINHA

Chapadinha - MA

2024

LÍDIA FERREIRA MORAES

**INOCULAÇÃO BIOLÓGICA E FERTILIZAÇÃO FOSFATADA:
ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA O CULTIVO SUSTENTÁVEL DA
MANDIOCA BRANQUINHA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Ciências de Chapadinha, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Meio Ambiente e Recursos Naturais

Linha de pesquisa: Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável

Orientadora: Profa. Dra. Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos

Coorientador: Prof. Dr. José Oscar Lustosa de Oliveira Júnior

Chapadinha - MA

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Ferreira Moraes, Lídia.

Inoculação Biológica e Fertilização Fosfatada:
Estratégias Integradas Para O Cultivo Sustentável da
Mandioca Branquinha / Lídia Ferreira Moraes. - 2024.
93 f.

Coorientador(a) 1: José Oscar Lustosa de Oliveira
Júnior.

Orientador(a): Raissa Rachel Salustriano da Silva
Matos.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Ciências Ambientais/ccch, Universidade Federal do
Maranhão, Chapadinha-ma, 2024.

1. Manihot Esculenta Crantz. 2. Bioinsumos. 3.
Sustentabilidade. 4. . 5. . I. Oscar Lustosa de
Oliveira Júnior, José. II. Rachel Salustriano da Silva

LÍDIA FERREIRA MORAES

**INOCULAÇÃO BIOLÓGICA E FERTILIZAÇÃO FOSFATADA:
ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA O CULTIVO SUSTENTÁVEL DA
MANDIOCA BRANQUINHA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Ciências de Chapadinha, da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestra em Ciências Ambientais.

Aprovada em: 29/05/2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos
Universidade Federal do Maranhão
Centro de Ciências de Chapadinha

Prof. Dr. Gustavo André de Araújo Santos
Universidade Federal do Maranhão
Centro de Ciências de Chapadinha

Prof. Dr. Ricardo de Normandes Valadares
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Departamento de Agronomia/Área de Fitotecnia

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha sobrinha, e aos meus irmãos, amo vocês com todas as minhas forças.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ser a minha fonte de vida, força e coragem para enfrentar todas as dificuldades até aqui, e por sempre me proteger de todo mal que eu não possa ver.

Aos meus pais, por sempre acreditarem nos meus sonhos e por sempre me darem asas para voar, definitivamente não seria nada sem vocês, sou muito abençoada por ter os dois em minha vida, obrigada por todo cuidado, amor e força que sempre me deram. E pelas inúmeras palavras de conforto nos momentos que eu não tinha chão, como vocês sempre me falam: Seja forte Lídia, você consegue, Deus é contigo. Obrigada por sempre me mostrarem isso, quando nem eu mesma acreditava em mim.

Aos meus irmãos, Francisco e Carlos por todo o carinho e apoio, a maninha ama muito vocês.

À minha sobrinha Rebeca, que hoje não entende muita coisa e sempre me pergunta onde estou, e que diz que me ama muito até o céu. Um dia você saberá o quanto sua existência me dar forças para continuar tentando ser uma pessoa melhor.

Aos meus tios e tias, por tanto amor. E aos meus avós maternos e paternos que não estão mais nessa vida, mas desde criança me falavam que o caminho do sucesso seria por meio dos estudos.

À minha outra família que Deus me deu. Dona Cleane, Seu Ronaldo, Brenda, Yasmin, Dona Maria, Edson Neto, Hellen e Dona Rosa. Vocês nem imaginam o quanto sou grata e feliz por fazerem parte da minha vida, sempre vão estar no meu coração, passe o tempo que passar. Obrigada por toda ajuda e apoio que sempre me deram. Pelas boas risadas e momentos únicos durante todos esses anos, vocês são um presente de Deus para mim. Amo todos de coração.

Ao Fernando, por ter sido o maior incentivador para iniciar o mestrado. Sou grata por todo o apoio durante todos os anos.

Aos meus amigos que conheci na graduação e mestrado, e todos aqueles que tiraram um pouquinho do seu tempo para me ajudar no desenvolvimento do experimento, obrigada por todas as risadas e o companheirismo, assim como o grupo de pesquisa Frutima/Florima/Bioma pela parceria de sempre.

Ao Fernando Júnior que sempre esteve disposto a ajudar em qualquer ocasião, sem sua presença tudo seria mais difícil, de coração, muito obrigada.

Aos meus amigos Ramón, Josiel, Karelly, Simeone, Leonora, Andressa, Kauã e João Victor por todo o companheirismo e ajuda a mim prestada, sem vocês não teria sido possível.

À minha amada orientadora Raissa Rachel, não só acadêmica, mas da vida. Em todos esses anos de graduação e mestrado você sempre foi um exemplo para mim do que eu quero ser, e que eu consiga ser pelo menos 1% dessa pessoa incrível que você é. Obrigada por tudo e por toda compreensão que sempre teve comigo, e por todos os ensinamentos até aqui repassados. Sempre levarei você no meu coração.

Ao meu coorientador Dr. Oscar, por todo o cuidado na minha ida para a EMBRAPA, assim como o seu auxílio no decorrer da dissertação e pelos os ensinamentos repassados.

A todo o pessoal da EMBRAPA MEIO-NORTE (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), os técnicos e estagiários que me ajudaram com as análises, foram o ponto crucial para estar aqui hoje, em especial seu Moreira e Hosana, que no pouco tempo convivido me repassaram conhecimentos que antes eu não sabia, além da sua atenção com as minhas análises.

Ao Nitalo por toda a paciência nessa reta final da dissertação e por sua atenção e tempo concedido para a finalização do trabalho.

Ao programa de Pós-Graduação e professores que o compõem.

A FAPEMA (Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão), pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

RESUMO

Entre as culturas que são mais produzidas e consumidas no Brasil está a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pertencente à família Euphorbiaceae, com isso práticas sustentáveis são cada vez mais requeridas, como a inoculação que consiste da utilização de biofertilizantes que são formulados a partir de microrganismos como o *Bacillus megaterium*, assim como o uso de adubos adequados para o aumento da produtividade. Objetivou-se avaliar as características morfológicas, o estado nutricional e a produtividade de plantas de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, inoculadas com *B. megaterium* associada a adubação fosfatada. O experimento ocorreu no período de fevereiro de 2023 e fevereiro de 2024, foi realizado em uma propriedade rural no município de Chapadinha-MA. A cultivar utilizada foi a mandioca cv. Branquinha sob cultivo de sequeiro, plantadas em covas com dimensões de 10 x 10 x 10 cm, e espaçamento de 1,0 m x 1,0 m. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com arranjo fatorial 4 x 3, (quatro doses de *B. megaterium* [D0: 0; D1: 1,0; D2: 2,0; D3: 3,0 L. ha⁻¹] aplicadas no sulco de plantio e três doses de adubação fosfatada [P0: 0% - sem adubação fosfatada; P50: 50% e P100: 100% da recomendação e controle], com cinco repetições, totalizando 60 parcelas. As variáveis analisadas foram: altura das plantas; altura da primeira ramificação; diâmetro das plantas; produtividade total; produtividade da raiz comercial; produtividade da raiz não comercial; peso médio de raízes tuberosas; peso médio da parte aérea; peso médio de raízes comerciais; matéria seca da raiz; matéria seca da parte aérea; índice de colheita; nitrogênio microbiano; carbono microbiano e respiração basal do solo e macro e micronutrientes da folha. Para a análise estatística foi realizado a hipótese de normalidade, utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5%. Após confirmação de normalidade, procedeu-se a análise de variância e o teste Tukey, para efeito significativo os dados foram explorados por meio de regressão, e realizado uma análise de Pearson a 5% de probabilidade. Houve efeito significativo para as variáveis: altura das plantas; diâmetro das plantas; número de raízes comerciais por planta; peso médio de raízes comerciais; massa seca da raiz; massa seca parte aérea; produtividade total; produtividade da raiz comercial; número de raízes comerciais por planta; peso médio de raízes comerciais; nitrogênio microbiano; carbono microbiano; respiração basal; N; P; K; Ca; B; Fe; Mn e Zn. Conclui-se que a dose de inoculante de *Bacillus megaterium* de 2 L ha⁻¹ em conjunto com as proporções de adubação fosfatada em 50 e 100% da recomendação influência de forma positiva sobre a biometria e produtividade de raízes comerciais de plantas de mandioca, portanto, recomenda-se a dose menor. O uso *Bacillus megaterium* em conjunto com as proporções de adubação fosfatada não influencia sob a biologia do solo e o estado nutricional das folhas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. Branquinha sob cultivo de sequeiro.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, bioinsumos, sustentabilidade

ABSTRACT

Among the crops that are most produced and consumed in Brazil is cassava (*Manihot esculenta* Crantz) belonging to the Euphorbiaceae family, therefore sustainable practices are increasingly required, such as inoculation which consists of the use of biofertilizers that are formulated from microorganisms such as *Bacillus megaterium*, as well as the use of appropriate fertilizers to increase productivity. The objective was to evaluate the agronomic characteristics, nutritional status and productivity of cassava plants cv. Branquinha in dryland, inoculated with *B. megaterium* associated with phosphate fertilizer. The experiment took place between February 2023 and February 2024, it was carried out on a rural property in the municipality of Chapadinha-MA. The cultivar used was cassava cv. Branquinha under rainfed cultivation, planted in holes with dimensions of 10 x 10 x 10 cm, and spacing of 1.0 m x 1.0 m. The experimental design adopted was in randomized blocks, with a 4 x 3 factorial arrangement, (four doses of *B. megaterium* [D0: 0; D1: 1.0; D2: 2.0; D3: 3.0 L. ha⁻¹] applied in the planting furrow and three doses of phosphate fertilizer [P0: 0% - without phosphate fertilizer; P50: 50% and P100: 100% of the recommendation and control], with five replications, totaling 60 plots. The variables analyzed were: plant height; height of the first branch; plant diameter; total productivity; commercial root productivity; non-commercial root productivity; average weight of tuberous roots; average aerial part weight; average weight of commercial roots; root dry matter; aerial part dry matter; harvest index; microbial nitrogen; microbial carbon and soil basal respiration and leaf macro- and micronutrients. For statistical analysis, the hypothesis of normality was carried out, using the Kolmogorov-Smirnov test, with a significance level of 5%. After confirming normality, analysis of variance and the Tukey test were carried out. For significant effect, the data were explored through regression, and a Pearson analysis was carried out at 5% probability. There was a significant effect for the variables: plant height; plant diameter; number of commercial roots per plant; average weight of commercial roots; dry root mass; dry mass aerial part; total productivity; commercial root productivity; number of commercial roots per plant; average weight of commercial roots; microbial nitrogen; microbial carbon; basal breathing; N; P; K; Ca; B; Fe; Mn and Zn. It is concluded that the dose of *Bacillus megaterium* inoculant of 2 L. ha⁻¹ together with the proportions of phosphate fertilizer at 50 and 100% of the recommendation positively influences the biometrics and productivity of commercial roots of cassava plants, therefore, the lower dose is recommended. The use of *Bacillus megaterium* in conjunction with the proportions of phosphate fertilizer does not influence the biology of the soil and the nutritional status of cassava leaves (*Manihot esculenta* Crantz) cv. Branquinha under rainfed cultivation.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz, bio-inputs, sustainability

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Temperatura (°C) e umidade (%) média, máxima e mínima decorrentes dos meses do experimento, Chapadinha-MA, 2023/2024.	47
Figura 2. Precipitação (mm) decorrentes dos meses do experimento, Chapadinha-MA, 2023/2024.	47
Figura 3. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável altura média da planta (m) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024.	51
Figura 4. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável diâmetro médio das plantas (DPLAN) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024.	52
Figura 5. Fator dose de inoculante para a variável produtividade total (PRODT) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024.	53
Figura 6. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável produtividade de raízes comerciais (PRODRC) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024.	54
Figura 7. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável número de raízes comerciais por planta (N°RC) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024.	55
Figura 8. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável peso de raízes comerciais (PRC) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024.	56
Figura 9. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável teor de matéria seca da raiz (MSR) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024.	57
Figura 10. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024.	57

CAPÍTULO II

Figura 1. Temperatura (°C) e umidade (%) média, máxima e mínima decorrentes dos meses do experimento, Chapadinha-MA, 2023/2024.	71
Figura 2. Precipitação (mm) decorrentes dos meses do experimento, Chapadinha-MA, 2023/2024.	72

Figura 3. Interação entre os fatores adubação fosfatada* dose de inoculante para a variável N microbiano do solo sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024	75
Figura 4. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável C microbiano do solo sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024	76
Figura 5. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável respiração basal do solo sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024	77
Figura 6. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para o nutriente nitrogênio (N) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024	78
Figura 7. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para o nutriente fósforo (P) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024 ...	79
Figura 8. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para o nutriente potássio (K) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024 .	80
Figura 9. Fator dose de inoculante para o nutriente cálcio (Ca) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024	81
Figura 10. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para o nutriente boro (B) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024	82
Figura 11. Fatores isolados dose de inoculante (A) e adubação fosfatada (B) para o nutriente ferro (Fe) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024	83
Figura 12. Fatores isolados dose de inoculante (A) e adubação fosfatada (B) para o nutriente manganês da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024	84
Figura 13. Fatores isolados dose de inoculante (A) e adubação fosfatada (B) para o nutriente zinco da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024	85

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Valores de pH (potencial hidrogeniônico), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Z) do solo..... 48

Tabela 2. Valor de F e significância dos fatores para as variáveis produtividade total (PRODT); produtividade da raiz comercial (PRODRC); produtividade da raiz não comercial (PRODRNC) e índice de colheita (IC) de mandioca cv. Branquinha, 2023/2024..... 50

CAPÍTULO II

Tabela 1. Valores de pH (potencial hidrogeniônico), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Z) do solo..... 73

Tabela 2. Valor de F e significância para as variáveis biológicas do solo: nitrogênio microbiano (NMICROB); carbono microbiano (CMICROB) e respiração basal do solo (RESPBAS), e nutricionais da folha: nitrogênio (N); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S); boro (B); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn) e zinco (Zn) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha, 2023/2024 74

Tabela 3. Correlação de Pearson para os nutrientes foliares e variáveis do solo: nitrogênio (N); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S); boro (B); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn); zinco (Zn); nitrogênio microbiano (NMICROB); carbono microbiano (CMICROB) e respiração basal do solo (RESPBAS) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha, Chapadinha-MA, 2023/2024. 86

SUMÁRIO

1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
1.1	A cultura da mandioca (<i>Manihot esculenta</i> Crantz)	14
1.2	Importância econômica e seu papel na segurança alimentar	15
1.3	Manejo	16
1.4	Fisiologia e estresse abiótico em plantas de mandioca	18
1.5	Microbioma do solo e agricultura sustentável.....	19
1.6	<i>Bacillus megaterium</i>	20
1.6.1	Aspectos gerais	20
1.6.2	Mecanismos de ação.....	21
1.6.3	Promotor de crescimento	22
1.6.4	Solubilizador de fosfato	23
1.7	Tolerância ao estresse em plantas.....	24
1.8	Interação entre <i>Bacillus megaterium</i> e mandioca	25
1.8.1	Métodos de inoculação e aplicações práticas.....	26
2	OBJETIVOS	27
2.1	Geral.....	27
2.2	Específicos.....	27
	REFERÊNCIAS	28
	CAPÍTULO I	42
1	INTRODUÇÃO	45
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4	CONCLUSÃO.....	58
	REFERÊNCIAS	58
	ANEXOS	63
	CAPÍTULO II.....	67
1	INTRODUÇÃO	70
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	71
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4	CONCLUSÃO.....	87
	REFERÊNCIAS	87

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 A cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pertencente à família Euphorbiaceae, gênero *Manihot*, é consumida por milhões de pessoas, seu cultivo é realizado em mais de 102 países e está entre as culturas mais produzidas e consumidas no Brasil, além de outros países, como a África, por ser uma cultura de fácil adaptação a condições adversas de clima e solo (Albuquerque *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2018).

A mandioca, é uma planta que pode ser explorada como anual ou bianual, possui caule lenhoso e suporta solos de baixa fertilidade (Viana *et al.*, 2002). Apresenta fecundação cruzada (Dantas *et al.*, 2008), possui arbusto ereto, semiereto a decumbente variando de 5 a 15 cm de comprimento, raízes cilíndricas ou cônicas, com a casca variando de tonalidades entre marrom, marrom claro ou escuro; polpa branca ou creme, caule central presente ou ausente, quando jovem o caule apresenta cor verde, avermelhado ou roxo, quando maduro cinza, até marrom claro ou escuro; nós curtos medindo de 1 a 1,5 cm e largos maior que 5 cm, brotos jovens com cores verde, avermelhado, roxo, inflorescência disposta em panícula central com 2 a 4 racemos saindo no mesmo ponto, suas flores pistiladas de sépalas livres e abertas, amareladas, cremes, esverdeadas e com tonalidades vermelhas nas faces e frutos globosos alados, alas curtas 0,5 a 1 mm, medianas, 1,5 a 2 mm, largas maior que 2,5 mm, normalmente onduladas e com pigmento vermelho no bordo (Flores, 2013).

Na comercialização é considerada como uma hortaliça tuberosa, em virtude de ser comercializada com outras hortaliças (Byju; Suja, 2020) e seu consumo é proveniente de suas raízes tuberosas ricas em amido (FAO, 2019). É conhecida por diversos termos: aipim, mandioca de mesa ou macaxeira, dependendo da região e a principal diferença está nos teores de glicosídeos cianogênicos (TGC).

São classificadas como mansas as mandiocas “domésticas”, por não possuírem gosto amargo e apresentar baixos TGC. Seu consumo pode ser feito após processamento simples ou fervura (Mcmahon *et al.*, 1995). As bravas são denominadas de “selvagens” e possuem um sabor amargo e teor acima de 100 mg de ácido cianídrico (HCN). Dessa forma, as mandiocas selvagens são aptas para o consumo em forma de farinha, amido e outros produtos após processos que diminuam os teores de HCN (Valle *et al.*, 2004).

Além disso, a partir das raízes, obtém-se a fécula, um produto de valor comercial. Para tanto, após a lavagem e o descascamento as raízes são raladas e prensadas sob água corrente (Tironi *et al.*, 2015).

1.2 Importância econômica e seu papel na segurança alimentar

O Brasil ocupa a quarta posição no ranking de maiores produtores de mandioca no mundo (FAO, 2020). A cultura é bem difundida no Brasil, representa um importante papel na geração de emprego e renda, a grande maioria se atribui a pequenos e médios produtores rurais (Lobo *et al.*, 2018) e está cada vez mais presente na alimentação.

A mandioca possui grande importância econômica e potencial para a segurança alimentar (Rivas *et al.*, 2021). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) os dados referentes à produção no Brasil no ano de 2020.

A maior parte da mandioca produzida é proveniente da agricultura familiar e geralmente não é adotado o uso de tecnologias no cultivo, culminando na redução da produtividade da cultura. Toda via, maiores produtividades de mandioca são dadas a aqueles cultivos que utilizam algum tipo de tecnologia, no caso de indústrias alimentícias tanto humana como animal, são empregadas técnicas como preparo do solo que envolve correção da acidez, adubação da cultura, seleção de plantas, além do manejo periódico (Modesto; Alves, 2016).

Geralmente pequenos e médios agricultores cultivam a mandioca com a finalidade de obter a farinha como produto final ou consumo *in natura*, podendo ser comercializados em mercados locais. Os processos de fabricação variam para cada produto (Cohen *et al.*, 2007; Adjovi *et al.*, 2015), entretanto, a raiz da mandioca comumente passa por processo de lavagem, é descascada, ralada e após isso prensada para sair todo o líquido existente, obtendo-se uma massa que passa pelo processo de peneiramento e só então é levada ao forno e assada em panelas grandes (Cohen *et al.*, 2007; Adjovi *et al.*, 2015), outros produtos de potencial econômico e cultural também são produzidos, como a fécula de mandioca e amido azedo.

As suas folhas possuem um elevado teor de proteína, autores como Suderman *et al.* (2018) relatam que a mandioca possui uma variação de 23,2 a 35,9% dependendo do tipo de cultivar e da idade de plantio da planta. A sua parte aérea (folhas e caule) podem ser utilizadas como ingredientes na formulação da alimentação animal ofertada em forma de silagem ou fenação.

A mandioca possui também potencial utilização como nematicidas, inseticidas e acaricida, por meio da manipueira que é subproduto líquido da industrialização da mandioca, esse líquido possui aspecto leitoso, proveniente da prensagem da mandioca, sua composição é basicamente amido, glicose, outros açúcares, proteínas, e derivados

cianogênicos além de outros componentes, e substâncias orgânicas diversas e sais minerais (Oliveira *et al.*, 2009).

1.3 Manejo

A maioria dos cultivos de mandioca na região Nordeste, se caracterizam pela agricultura conhecida como “roça de toco”, considerado um sistema arcaico atrelado a práticas não sustentáveis, pois utiliza fogo para limpeza de área, entretanto este sistema ainda é muito utilizado (Costa *et al.*, 2016). A falta de manejo adequado para cultura da mandioca, acaba resultando em um baixo percentual de produtividade, não possibilitando aumento da expressivo dos índices produtivos da cultura (Barbosa *et al.*, 2019).

A sua propagação vegetativa é realizada por meio de estacas dos segmentos do caule, denominadas de “manivas” (Teixeira *et al.*, 2017b). O período de plantio é normalmente feito no início do período chuvoso, devido fatores como a umidade e o calor tornam-se de suma importância para a brotação e enraizamento da cultura, ou risco de excesso de umidade no solo possa interferir no estabelecimento da cultura (Alcântara, 2014).

A cultura da mandioca necessita de solos bem drenados e profundos, com textura média, para que haja melhor desenvolvimento do sistema radicular. Solos muito argilosos devem ser evitados devido à baixa aeração e drenagem aumentando o risco de encharcamento, além de dificultar a colheita caso coincida com o período não chuvoso (Souza; Souza, 2021).

Autores como Maluf *et al.* (2011), relatam que as temperaturas médias do por ano adequadas para o cultivo variam de 18°C e 35°C, entretanto, regiões com temperaturas de 20°C e 27°C são mais indicadas, e sua temperatura ótima fica em torno de 21°C e 25°C, temperaturas inferiores de 15°C não são indicadas. A irrigação pode ser utilizada no sistema de cultivo da mandioca, porém a escolha do tipo a ser utilizado vai depender das do tipo de solo, clima, manejo, custos e disponibilidade hídrica para alimentar o sistema, sendo a irrigação por aspersão a mais utilizada possibilitando o consórcio com outras culturas (Coelho, 2020).

Um manejo do solo adequado está diretamente associado aos aspectos físicos, químicos e biológicos nos sistemas agrícolas, com o intuito da preservação dos solos e do meio ambiente sendo componentes vitais para sistemas cada vez mais sustentáveis (Reetz, 2017). A fertilidade do solo, possibilita aumento da produtividade e melhorias na nutrição das culturas (Pinheiro *et al.*, 2020).

Os fertilizantes mais utilizados são os de alto solubilidade em citrato neutro de amônio e água, como os fosfatos monocálcicos, superfosfato simples e o superfosfato triplo, fosfatos monoamônicos e diamônicos, e ainda aqueles que possuem os macronutrientes incorporados (Sousa *et al.*, 2016).

A adubação fosfatada atualmente é um dos temas mais estudados nas pesquisas agrícolas nas mais diversas culturas (Werner *et al.*, 2020; Guilherme *et al.*, 2021; Ribeiro *et al.*, 2022). O desenvolvimento das plantas incluindo os processos relacionados a sua fisiologia, desenvolvimento e crescimento estão diretamente interligados a área cultivada e à disponibilidade de nutrientes (Signore *et al.*, 2016). Contudo, a disponibilidade de nutrientes é necessário para o bom desenvolvimento da produção agrícola (Haydon *et al.*, 2015).

Em solos ácidos, a aplicação de fertilizantes provenientes de fosfatos suprem algumas deficiências nutricionais no solo e são amplamente utilizados na agricultura aumentando a produtividade da lavoura e impactam de forma positiva a produção de alimentos, garantindo uma maior segurança alimentar (Brownlie *et al.*, 2021). Todavia, apenas 15% dos fertilizantes fosfatados são absorvida pelas plantas. O excesso pode ocasionar problemas ao meio ambiente, como contaminação de lençóis freáticos, eutrofização de mananciais ou acúmulo de metais pesados (Baveye, 2015).

Visto isto, a agricultura de sequeiro enfrenta desafios significativos devido às variações nas precipitações e aos padrões climáticos imprevisíveis relacionados à disponibilidade de água e manejo do solo. O aumento nas alterações dos padrões de chuva têm o potencial de afetar tanto a produtividade quanto a viabilidade econômica (Iglesias *et al.*, 2011).

A produção agrícola em condições de sequeiro é uma estratégia empregada pelos produtores como forma de produzir desde os primórdios. Esse sistema é utilizado principalmente onde há limitação de água ou que a irrigação mecanizada é inviável economicamente. Algumas técnicas de manejo são adotadas visando a retenção de umidade do solo, como, plantio em diferentes épocas, variedades adaptadas, escarificação do solo, construção de sulco-camalhões, uso de resíduos e adubação (Parfitt *et al.*, 2019). entretanto, alguns fatores como culturas tolerante a déficit hídrico e ciclo curto, são de grande importância para que o cultivo seja bem-sucedido (Embrapa, 2018).

A cultura da mandioca se sobressai por tolerar prolongados períodos de estresse hídrico, como em condições de baixa pluviosidade, se destacando assim, como uma cultura de grande relevância socioeconômica (Zhu *et al.*, 2020). Embora essa cultura seja

altamente resistente a estresse hídrico, sua produtividade também é afetada pela falta de água. A região Nordeste do Brasil é um exemplo de irregularidade pluviométrica, onde esse fator tem grande interferência na produção regional da mandioca (Silva *et al.*, 2011).

Na cultura da mandioca, o método mais utilizado para o controle de plantas daninhas é o controle mecânico, sendo a capina mais empregada, levando em consideração os devidos cuidados para não causar injúrias as raízes, dessa forma esse tipo de controle apresenta uma boa eficiência para controle de plantas daninhas. Além do mecânico, outros métodos são utilizados para o controle de plantas daninhas, são: o manual, cultural, biológico ou químico (Oliveira *et al.*, 2011).

A colheita é feita ao final do ciclo quando a raiz apresenta uma maior quantidade de amido, onde há temperaturas e chuvas menores e as plantas já perderem as suas folhas, a colheita a nível familiar é feita manualmente (Sagrilo *et al.*, 2002; Johanns; Cotineiro, 2006; Dantas *et al.*, 2015).

1.4 Fisiologia e estresse abiótico em plantas de mandioca

A cultura da mandioca se adapta facilmente em diferentes condições edafoclimáticas, por apresentar alta rusticidade e capacidade de se desenvolver em condições de baixa umidade, todavia, temperatura e disponibilidade de luz são fatores que afetam a fotossíntese ao longo do ciclo da cultura (Veríssimo *et al.*, 2010).

Alguns mecanismos são utilizados pela planta como método de controle do déficit hídrico através do fechamento dos estômatos e taxa de expansão foliar, podendo ser observado na parte aérea (Alves *et al.*, 2011). Apesar dessa combinação ser uma tática eficaz na melhoria do uso da água pela planta, isso pode afetar o potencial fotossintético e por consequência, o desenvolvimento de raízes.

De acordo com a variedade estudada, tem-se respostas diferentes aos déficits de pressão de vapor atmosférico (DPVA) em relação ao fechamento dos estômatos, podendo responder em menor ou maior intensidade, estão relacionados ao aumento de temperatura e diminuição da umidade, como é observado em horários mais quentes em regiões tropicais, a baixa utilização do que é consumido de água pela planta é um fator de grande relevância, e 2% é utilizado na expansão celular, 1% no metabolismo vegetal e 97% é perdida por transpiração quando submetidos situações de maiores intensidades de DPVA (Matos *et al.*, 2016).

A principal condição para o desenvolvimento das culturas é a hidratação dos tecidos, bem como para o início de diversos outros processos fisiológicos primordiais ao

metabolismo vegetal, sendo o déficit hídrico o fator de maior limitação na produção agrícola (Taiz; Zaiger, 2013).

1.5 Microbioma do solo e agricultura sustentável

O solo é um recurso natural essencial para o funcionamento dos ecossistemas, onde há a contribuição e interação de milhares de criaturas diferentes para a manutenção da vida na terra, sendo representado por diversos fatores (Silva *et al.*, 2022), que influenciam diversos atributos do solo e sustentabilidade do agroecossistema (Botelho; Silva, 2023).

De acordo com Araújo (2019), os indicadores biológicos podem auxiliar no monitoramento de mudanças ambientais provenientes da intensificação do uso agrícola. A fauna presente no solo beneficia o fluxo de energia e propicia benefícios fundamentais para os ecossistemas e manutenção da agricultura a longo prazo. A ausência de organismos tornaria o solo em um ambiente estéril, incapaz de manter condições seguras na produção de alimentos (Mohammad *et al.*, 2017).

Alguns fatores interferem diretamente na atividade microbiana do solo como teor de matéria orgânica, qualidade e quantidade de resíduos adicionados ao solo e manejo (Venzke Filho *et al.*, 2008). Outros atributos como diversidade microbiana, taxa de respiração, atividade enzimática e biomassa microbiana também são indicadores de mudanças decorrentes do uso agrícola (Epelde *et al.*, 2014).

Segundo Balota (2018), há um vasto armazenamento da diversidade microbiana no solo, sendo as bactérias as maiores populações existentes. A pesquisa científica desenvolvida ao longo de anos, tem demonstrado que a microbiota relacionada às plantas é uma alternativa para desenvolver insumos agrícolas sustentáveis. A partir disso, houve um aumento da procura por microrganismos promotores de crescimento, tendo como destaque as rizobactérias (Botelho; Silva, 2023).

Os gêneros *Pseudomonas fluorescense* e *Bacillus*, possuem maior facilidade de crescimento e manipulação do material vegetal (Kalayu, 2019; Duan *et al.*, 2021). Cerca de 268 produtos biológicos provenientes desses dois gêneros foram registrados nos últimos 20 anos no Brasil, dentre estes, produtos para controle de doenças, solubilizadores de fosfatos e produtores de AIA (Ácido-indol-3-acético) e ACC deaminase (1-aminociclopropano-1-carboxilato) que conferem resistência a situações de estresses, tais como seca ou salinidade (Bettioli *et al.*, 2012; Misra; Chauhan, 2020; Duan *et al.*, 2021).

1.6 *Bacillus megaterium*

1.6.1 Aspectos gerais

Bacillus spp. são bactérias ditas Gram-positivas (Allen *et al.*, 1983), formam esporos e endósporos (Melo, 1998; Wang *et al.*, 2018) e produzem diferentes compostos como enzimas proteolíticas, amilolíticas e antibióticos (Melo, 1998). São bactérias promotoras de crescimento de plantas e exercem papel na melhoria e eficiência do uso de nitrogênio e consequentemente na sustentabilidade e produção agrícola (Di Benedetto *et al.*, 2016; Di Benedetto *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2020).

Os microrganismos de forma geral, influenciam no desempenho da ciclagem de fósforo no solo, convertendo o fósforo insolúvel em solúvel e estando disponíveis para absorção pelas plantas. Desse modo quando há a inoculação destes componentes biológicos, tem-se o enriquecimento do solo, por meio da liberação na rizosfera do fósforo inorgânico ou orgânico (Owen *et al.*, 2015). Os microrganismos solubilizadores de fósforo, aumentam a absorção de nutrientes e água, produção de fitormônios, bioproteção contra agentes patogênicos e diversos outros fenômenos (Gupta *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2018).

O *Bacillus megaterium* é uma bactéria presente em diversos habitats, podendo ser encontrado em animais ou componentes vegetais. Há presença dessa bactéria em proteínas como penicilina acilase, amilases, produção de piruvato ou vitamina B12 (Vary *et al.*, 2007). Possui a capacidade de produzir compostos metabólicos secundários que possuem a função de solubilização de fósforo. Dessa forma, o *B. megaterium* pode ser usado na inoculação de materiais vegetais culminando na potencialização dos efeitos em solos que apresentam maior quantidade de óxidos de Fe^{+2} e Al^{+3} (Batista *et al.*, 2018).

Destaca-se no mercado por possuir a função de controle biológico, e produzir os mais diversos tipos de metabólitos com função antibacterianas e antifúngicas (Al-Thubiani *et al.*, 2018; Mannaa; Kim, 2018). Logo, estudos voltados a essa bactéria são crescentes, por possui características de biocontrole, e sua eficiência contra fitopatógenos por meio de atividade antagônica ou antibacteriana (Quigley, 2010; Fira *et al.*, 2018).

A cepa de *B. megaterium* demonstrou potencialidades na produção de compostos bioativos antibacterianas, no mesmo estudo foram identificados componentes eluídos do extrato bruto e demonstram atividade inibitória eficaz contra os patógenos *Agrobacterium tumefaciens*, *Erwinia carotovora* e *Ralstonia solanacearum* (Ji *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2019). Ressalta-se ainda nos estudos de Ding *et al.* (2020) que o composto ácido 12-

hidroxijasmônico, extraído e isolado da *B. megaterium* (LB01), influenciou na inibição contra *Colletotrichum gloeosporioides*.

1.6.2 Mecanismos de ação

São inúmeros os benefícios associados à adoção de microrganismos principalmente quando comparados com os produtos químicos utilizados na agricultura. Os produtos biológicos possuem funções inseticidas, acaricidas, fungicidas, nematocidas ou microbiológicos (Nunes *et al.*, 2010; Vidal *et al.*, 2020) e são promotores de crescimento vegetal (Schurt *et al.*, 2017), além de serem de fácil aplicação.

Os microrganismos presentes nos bioinsumos impedem que o parasita adentre ao interior da planta e atua diretamente sobre o patógeno ou de forma indireta induzindo a planta a ativar algum mecanismo de defesa, controlando o patógenos ou qualquer outro organismo maléfico a planta (Vidal *et al.*, 2020).

Os mecanismos de ação das bactérias variam de acordo com a espécie e cepa utilizada e influenciam diretamente nas plantas, onde não existe um único método de estímulo para o desenvolvimento das plantas e suas respectivas potencialidades (Souza *et al.*, 2015; Porto *et al.*, 2022). O microrganismo estabelece interações com outros na área de cultivo (Allwood; Ellis; Goodacre, 2008), agem através de competição, antibiose, predação e indução (Isaias *et al.*, 2014).

Compreender a relação entre planta e microrganismo favorece o entendimento dos mecanismos de ação e consequentemente a contribuição para o crescimento das plantas, assim como a criação de estratégias e métodos de controle contra fitopatógenos (Mendes *et al.*, 2013)

O crescimento uniforme e saudável das plantas é influenciado por meio de diversas ações, nelas estão incluídas o transporte e mobilização de nutrientes, ligação e dissolução do N, a mineralização do P, aumento da produção e consequentemente a absorção dos componentes disponibilizados para as plantas, sintetização de hormônios vegetais que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento, sintetizam de substâncias orgânicas voláteis que são estimuladoras de crescimento e agem na proteção de plantas (Castiglioni *et al.*, 2008).

As bactérias do grupo *Bacillus* possuem características antagonistas sobre aos fitopatógenos, e agem utilizando três métodos principais, que são a competição por recursos, liberação de substâncias químicas (inibidoras de crescimento dos patógenos) e estimulação da resistência sistêmica (Dorighello *et al.*, 2020). Com isso os estudos

voltados para os metabólitos voláteis são crescentes, provenientes de microrganismo que possuem potencial para controle biológico e promoção de crescimento de plantas, assim como seus modos de atuação nas mais diversas culturas no controle de pragas e doenças (Morath; Hung; Bennett, 2012; Muhamadali *et al.*, 2015).

Vale ressaltar que o mecanismo subjacente a atividade antibacteriana do gênero *B. megaterium*, está ligado a metabólitos como a surfactina que possui efeito inibitório, e pode ser isolada também do *B. subtilis* contra fungos fitopatogênicos (Plaza *et al.*, 2013).

1.6.3 Promotor de crescimento

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) apresentam características únicas, influenciam o desenvolvimento e a expansão da superfície da área radicular, número de raízes adventícias e tem-se um aumento na absorção dos nutrientes, promovendo a produção de ácido indol-acético, sideróforos e formando um biofilme nas raízes (Sousa *et al.*, 2020; Velloso *et al.*, 2020).

Várias são as bactérias utilizadas para a promoção de crescimento, ressalta-se em especial a *B. megaterium*, que possui grande capacidade para crescimento vegetal, e produção de hormônios essenciais para as plantas (Glick, 2012; Mendonça *et al.*, 2020). Esse gênero é capaz de estimular e produzir hormônios vegetais (giberelinas, citocininas e auxinas) (Müller *et al.*, 2019; Zarei *et al.*, 2019; Machado *et al.*, 2020).

As auxinas são geradas por meio do desdobramento metabólico das bactérias, influenciando no crescimento das plantas e são essenciais em diversos processos de desenvolvimento como a expansão, divisão, diferenciação celular e crescimento radicular. Todavia, as citocininas (produtoras de purina) assumem função de divisão celular e crescimento inicial das raízes. Já as giberelinas, são hormônios vegetais são sintetizadas pelas bactérias, estimulando o crescimento das raízes, melhoram a absorção de nutrientes e influenciam de forma direta na parte aérea das plantas (Wong *et al.*, 2015).

O *B. megaterium* atua como promotor de crescimento de plantas, e pesquisas voltadas ao entendimento e interação dessas bactérias estão sendo realizados e tem-se obtido resultados satisfatórios, demonstrando-se assim a importância da sua utilização principalmente em culturas de grande interesse econômico. Carvalho *et al.* (2009), ressaltam que a *B. megaterium* produz substâncias promotoras do crescimento que favoreceram o desenvolvimento do trigo.

Santos *et al.* (2021) por sua vez, estudaram a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium* na aveia branca, obtiveram resultados positivos, no qual foi promovido

aumento no crescimento e diâmetro da planta, aumentando a produção. Autores como Bini *et al.* (2021) relatam que há vários trabalhos que expressam as potencialidades da *B. megaterium*, obtiveram um ganho na produção média 35 de grãos para as culturas do milho e soja, entretanto, eles ressaltam que outros fatores podem interferir nos resultados, como aplicação feita de forma incorreta.

1.6.4 Solubilizador de fostato

O fósforo (P) se classifica como um dos macronutrientes mais importante para as plantas e pode ser facilmente encontrado nas membranas vegetais (fosfolipídios), processos de desenvolvimento das plantas (fotossíntese, respiração e transferência de energia), além de ser um dos principais limitadores da produção nas mais diversas regiões. É um componente dos nucleotídeos, da adenosina trifosfato e faz parte das estruturas do DNA e RNA (Grant *et al.*, 2001; Taiz *et al.*, 2017).

Na ausência desse nutriente principalmente nas primeiras fases desenvolvimento das plantas, há o retardamento do crescimento vegetal, má formação, coloração verde-escura das folhas e manchas necróticas que sinalizam sintomas característicos da deficiência do fósforo na planta (Taiz *et al.*, 2017).

Os microrganismos são peças chaves na agricultura e possuem a capacidade de realizar transformações bioquímicas dos nutrientes presentes no solo, facilitando a sua disponibilização para as plantas (Moreira; Siqueira, 2006).

Na atualidade, os solos demonstram-se com consideráveis níveis de fósforo total, contudo a sua disponibilidade para as plantas torna-se limitada, principalmente em solos tropicais que apresentam altos níveis de intemperização, dessa forma, o uso desses microrganismos demonstram potencial de substituição (parcial ou completa) de fertilizantes sintéticos (Oliveira-Paiva, 2021a).

As diferentes classes de solos de cada bioma possuem suas próprias peculiaridades, como o exemplo o Bioma Cerrado são caracterizados por possuírem pH baixo, falta de nutrientes e grande habilidade de armazenar o nutriente fósforo, principalmente devido aos elevados níveis de ferro e óxido de alumínio, visto isto, torna-se uma alternativa viável e promissora para o bioma o uso de bactérias solubilizadoras de fosfato (Massucato *et al.*, 2022), podendo maximizar a utilização do P, e reduzir a utilização de fertilizantes minerais químicos (Oliveira *et al.*, 2020).

Os microrganismos solubilizadores de fosfatos associam-se com as raízes das plantas, mineralizam e solubilizam o fósforo residual, nesses processos ocorrem a fitase

e a liberação de ácidos orgânicos, aumentando a utilização de suas reservas nos solos agrícolas (Oliveira Paiva *et al.*, 2021b; Pavinato *et al.*, 2021), possuem habilidade em colonizar a rizosfera das plantas produzindo fitormônios, agindo como uma espécie de biofilme beneficiando o crescimento das plantas (Sousa *et al.*, 2021).

O gênero *Bacillus* são bactérias capazes de formar endósporos permitindo sua utilização em condições extremas, como, pH e temperatura elevado, radiação, dessecação e exposição a pesticidas (Bahadir *et al.*, 2018). As bactérias solubilizadoras de fosfatos produzem sideróforos, de peso molecular reduzido e substâncias com boa afinidade pelo Fe^{3+} , possuem ainda receptores na membrana que podem se ligarem no complexo Fe-sideróforos, o que facilita a interação e captação do ferro por meio dos microrganismos (bactérias) utilizadas (Porto *et al.*, 2022).

O *B. megaterium* estabelece interações com as plantas desde as primeiras fases do seu desenvolvimento radicular, multiplicando-se e interagindo com os tecidos radiculares por meio da produção de ácidos orgânicos, que atuam nas regiões do solo que possuem raízes próximas, favorecendo a solubilização do fósforo retidos ligadas ao cálcio, ferro e alumínio, viabilizam sua absorção, além de influenciar na transformação do fósforo presente na matéria orgânica do solo, como o caso do fitato (Paiva *et al.*, 2020).

Guimarães *et al.* (2023) destacam em seus estudos que diante dos atuais avanços tecnológicos e perspectivas das pesquisas em relação a fabricação de inoculantes, tem-se avanços na busca de novos microrganismos estimuladores de crescimento de plantas, com ênfase na solubilização de fósforo, tal utilização abre novos caminhos para estudos relacionados especialmente em solos classificados como Latossolos, já que esses solos tendem a imobilizar de forma considerável o fósforo, prejudicando o processo de absorção pelas plantas.

Tendo em vista as potencialidades do uso destes microrganismos, as perspectivas de uso tornam-se positivas levando em consideração a viabilidade, além da melhoria dos aspectos da nutrição do solo e do desenvolvimento das plantas cultivadas.

1.7 Tolerância ao estresse em plantas

A escassez hídrica no solo influencia diretamente a capacidade produtiva da cultura, fatores como disponibilidade de água, material genético e sua tolerância (Costa *et al.*, 2008; Pereira, 2012), tendo em vista que a grande maioria das culturas são sensíveis a esse fenômeno (Ali; Talukde, 2008; Scalon *et al.*, 2011). Com isso alguns sintomas

podem ser vistos nas plantas, ao avaliar o comprimento e densidade da raiz (Arunyanark *et al.*, 2009).

É essencial que se compreenda as necessidades hídricas e o ciclo da mandioca, afim de realizar um planejamento adequado para cultura, identificando as épocas que a cultura requer de recursos hídricos, que vão até os 5 meses após o plantio (Conceição, 1979). Extensos períodos de escassez de água podem resultar em reduções de mais da metade da produção na colheita total de raízes, conforme apontado por Ezui *et al.* (2018).

Ao serem submetidas ao estresse hídrico, quase totalidade das plantas diminuem drasticamente tamanho e diâmetro, como forma de minimizar os efeitos da falta de água demonstrando dessa forma os mecanismos de defesa que cada planta possui (Taiz; Zeiger, 2013). A redução do número de folhas de algumas espécies em épocas de escassez de água representa um mecanismo de tolerância e defesa, para que os estômatos se mantenham fechados e minimize a perda de água (Mélo, 2018).

Alves *et al.* (2013), relatam que algumas análises fisiológicas referentes a cultivares de mandioca que foram submetidos à escassez de água não demonstraram diferenças significativas em relação a condutância estomática. A ausência de água suficiente para o desenvolvimento da cultura em sua fase inicial pode haver a redução na produção de raízes (parte da planta de maior interesse econômico), contudo ressalta-se a necessidade do bom planejamento para que a planta aproveite o tempo chuvoso e passe pelo déficit hídrico já estabelecida (Gomes; Leal, 2003; Mélo, 2018), a mudança de temperatura, incidência solar e quantidade de chuvas são determinantes na hora da colheita da mandioca.

1.8 Interação entre *Bacillus megaterium* e mandioca

A mandioca apresenta grande interação aos microrganismos presentes no solo e inoculados (Lopes *et al.*, 2019), sendo as bactérias do gênero *Bacillus* e *Azospirillum* as que mais interagem (Teixeira *et al.*, 2007). Além de estimular a síntese de fitormônios, as bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* desempenham um papel crucial na promoção da disponibilidade de fósforo, o que favorece o desenvolvimento da cultura da mandioca, como descrito por Kour *et al.* (2021).

Dahmani *et al.* (2020) enfatizam que a utilização de *Bacillus megaterium* obteve um aumento da síntese de auxina nas plantas, além da solubilização do fosfato, favorecendo o aumento de biomassa aérea e radicular. Atualmente são utilizadas muitas BPCP, porém faz-se necessários mais estudos para investigar quais os reais impactos

sejam positivos ou negativos na cultura da mandioca como discutido por Teixeira *et al.* (2007), Lopes *et al.* (2019) e Ferreira *et al.* (2021).

Portanto, a utilização de inoculantes biológicos em conjunto com variedades de mandioca adaptadas à região atreladas a uma gestão adequada do solo possibilita a adoção de pacotes tecnológicos sustentáveis com potencial para reduzir a dependência de fertilizantes químicos e melhorar as condições biológicas do solo.

Considerando a afinidade da mandioca em possuir interações com bactérias que promovem o crescimento, a utilização de inoculantes biológicos no sistema produtivo da mesma levando em consideração a viabilidade e a melhoria na eficiência nutricional do solo, o uso na cultura ocasiona interações positivas potencializando a sua capacidade de produção principalmente em área de pequenos produtores rurais, no qual a quase totalidade são provenientes (Teixeira *et al.*, 2007; Sarr *et al.*, 2019).

1.8.1 Métodos de inoculação e aplicações práticas

Cada vez mais, a agricultura direciona seus esforços para um sistema de produção sustentável, prática essa que vem crescendo cada vez mais entre os produtores, por meio de resultados positivos, onde houve aumento significativo no uso de produtos biológicos nas lavouras (Croplife, 2020).

A prática de inoculação consiste da utilização de biofertilizantes que são formulados a partir de microrganismos, que estão presentes no solo e estão ligados ao desenvolvimento das plantas (Velázquez-Gurrola; Ramos-Alegria, 2015). A inoculação de bactérias envolve a introdução desses microrganismos que possuem a capacidade de serem fixadoras de nitrogênio por meio de um veículo líquido ou turfoso (Hungria; Campos; Mendes, 2001).

A aplicação via semente atualmente é a mais utilizada, além de ser a mais prática até o momento, porém a aplicação via sulco também se demonstra eficiente, além desses métodos serem uma alternativa para a introdução dos microrganismos no solo (Vieira Neto *et al.*, 2008).

Por mais que seja uma técnica bastante utilizada, como todo processo produtivo pode ocorrer falhas na nodulação das plantas e no processo de ação desses microrganismos (Embrapa, 2019). Nessa técnica, ocorre uma interação simbiótica, onde as bactérias dependem das raízes para sua sobrevivência e realizar a fixação do N^2 , um elemento essencial para a nutrição de plantas (Sediyama *et al.*, 2016). Portanto, os benefícios da inoculação são inúmeros indo desde os benefícios fisiológicos, nutricionais

e morfológicos, além de serem uma alternativa contra patógenos (Moreira e Siqueira, 2006)

O gênero *Bacillus*, tem mostrado efeitos positivos quando coinoculado com outras bactérias, como o *Bradyrhizobium*, sendo reconhecido como uma rizobactéria promotora do crescimento das plantas (Araújo, 2008). Estudos como o de Tochetto e Boiago (2020) obtiveram diferenças significativas nas variáveis nódulos por planta, massa seca da parte aérea, vagens por planta, grão por vagens e produtividade ao utilizar diferentes formas de coinoculação na cultura do feijão. A simples inoculação das culturas possibilita resultados significativos em relação aos ganhos de crescimento e assim altos rendimentos (Martinez *et al.*, 2016).

Guimarães *et al.* (2021) relatam que a promoção de crescimento e produção vegetal com inoculação contendo bactérias com capacidade de solubilização de fosfato são recentes e possuem boas perspectivas relacionados a nutrição dos nutrientes no solo. Considerando a relevância biológica dos microrganismos e o impacto positivo de uma fertilização de boa qualidade na cultura da mandioca, ressalta-se a importância da realização de conduzir pesquisas com o intuito de ampliar o conhecimento sobre a qualidade química, biológica e nutricional do solo e planta ao empregar o *Bacillus megaterium* na região Leste do Maranhão.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar as características morfológicas, nutricionais, biológicas e produtivas de plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), cv. Branquinha em sequeiro, inoculadas com *Bacillus megaterium* associada a adubação fosfatada.

2.2 Específicos

- Avaliar e quantificar a influência do *B. megaterium* sobre a adubação fosfatada;
- Indicar a melhor dose de aplicação de *B. megaterium* para a cultura da mandioca no Leste Maranhense;
- Analisar a influência dos fatores adubação fosfatada*dose de inoculante sob a morfologia, produção, estado nutricional e produtividade das plantas de mandioca;
- Quantificar a eficiência dos fatores sob as características biológicas do solo.

REFERÊNCIAS

- ADJOVI, Y. C. S.; GNONLONFIN, B. J. G.; BAILLY, S.; BAILLY, J. D.; TADRIST, S.; PUEL, O.; OSWALD, I. P.; SANNI, A. Ocorrência de micotoxinas em mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e seus produtos. **Revista Internacional de Segurança Alimentar**, v. 5, n. 217, p. 3-4, 2015.
- ALBUQUERQUE, J. A. A.; EVANGELISTA, M. O.; MATES, A. P. K.; ALVES, J. M. A.; OLIVEIRA, N. T.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A. Occurrence of weeds in *cassava* savana plantations in Roraima. **Revista Planta Daninha**, v.32, n.1, p. 91-98, 2014.
- ALCANTARA, F. L. M. **Produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) sob dois sistemas de plantio**. 2014. 46 f. Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2014.
- ALLEN, D. A.; AUSTIN, B.; COLWELL, R. R. Numerical taxonomy of bacterial isolates associated with a fresh water fishery. **Journal of General Microbiology**, v. 129, p. 2043-2062, 1983.
- ALLWOOD, J. W.; ELLIS, D. I.; GOODACRE, R. Metabolomic technologies and their application to the study of plants and plant–host interactions. **Physiologia Plantarum**, v. 132, n. 2, p. 117-135. 2008.
- AL-THUBIANI, A. S. A.; MAHER, Y. A.; FATHI, A.; ABOUREHAB, M. A. S.; ALARJAH, M.; KHAN, M. S. A.; AI-GHAMDI, S. B. Identification and characterization of a novel antimicrobial peptide compound produced by *Bacillus megaterium* strain isolated from oral microflora. **Saudi Pharmaceutical Journal**. [S. l.], v. 26, n. 8, p. 1089-1097, 2018.
- ALVES, A. A. C.; SETTER, T. M. L. Response of cassava leaf area expansion to water deficit: cell proliferation, cell expansion and delayed development. **Annals of Botany**, v. 94, p. 605-613, 2013.
- ALVES, J. D. S.; LEDO, C. D. S.; COELHO FILHO, M. A.; DUARTE, S. D. J. **Desempenho fisiológico de genótipos de mandioca submetidos a estresse hídrico**. In: Congresso brasileiro de mandioca, Maceió. Mandioca: fonte de alimento e energia: anais. Maceió, 2011.
- 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, T. S.; GALLO, A. S.; ARAUJO, F. S.; SANTOS, L. C.; GUIMARÃES, N. F.; SILVA, R.F. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n.2, p. 347-357, 2019.

ARUNYANARK, A.; JOGLOY, S.; AKKASAENG, C.; VORASOOT, N.; NAGESWARA RAO, R. C.; WRIGHT, G. C.; PATANOTHAI, A. Association between aflatoxin contamination and drought tolerance traits in peanut. **Field Crops Research**, v. 114, n. 1, p. 14-22, 2009.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Editora UFV, Viçosa, 2018, 279 p.

BARBOSA JÚNIOR, L. B.; CARVALHO, F. L. C.; SOUSA, R. R.; ARAÚJO, R. L.; BARROSA, W. F. C.; VERAS, F. H. C.; BANDEIRA, A. C.; SILVA, R. B. Avaliação da cultura da mandioca em diferentes sistemas de manejo do solo. **Global Science & Technology**, v.12, n. 02, p.152-169, 2019.

BATISTA, F. C.; FERNANDES, T. A.; ABREU, C. S.; OLIVEIRA, M. C.; RIBEIRO, V. P.; GOMES, E. A.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I. E.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A. **Potencial de microrganismos rizosféricos e endofíticos de milho em solubilizar o fosfato de ferro e produzir sideróforos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 166, 2018. 21 p.

BAVEYE, P. C. Looming scarcity of phosphate rock and intensification of soil phosphorus research. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.1, p. 637-642, 2015.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B.; PINTO, Z. V.; PAULA JÚNIOR, T. J.; CORRÊA, É. B.; MOURA, A. B.; LUCON, C. M. M.; COSTA, J. C. B.; BEZERRA, J. L. **Produtos comerciais à base de agentes de biocontrole de doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. 155 p. (Documentos 88).

BOTELHO, G. R.; SILVA, B. M. Rizobactérias: uma visão geral da importância para plantas e agrossistemas. **Ambientes em Movimento**, v. 1, n. 3, p. 22-46, 2023.

BROWNLIE, W. J.; SUTTON, M. A.; REAY, D. S.; HEAL, K. V.; HERMANN, L.; KABBE, C.; SPEARS, B. M. Global Actions for a Sustainable Phosphorus Future. **Nature Food**, v. 2, p. 71-74, 2021.

BYJU, G.; SUJA, G. Mineral nutrition of cassava. **Advances in Agronomy**, v. 159, p. 169-235, 2020.

CARVALHO, D. D. C.; OLIVEIRA, D. F.; PASQUAL, M.; CAMPOS, V. P. Rizobactérias produtoras de promotores do crescimento de plantas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 4, p. 338-341, 2009.

CASTIGLIONI, P.; WARNER, D.; BENSEN, R. J.; ANSTROM, D. C.; HARRISON, J.; STOECKER, M.; ABAD, M.; KUMAR, G.; SALVADOR, S.; D'ORDINE, R.; NAVARRO, S.; BACK, S.; FERNANDES, M.; TARGOLLI, J.; DASGUPTA, S.; BONIN, C.; LUETHY, M. H.; HEARD, J. Bacterial RNA chaperones confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. **Plant Physiology**, v. 147, n. 2, p. 446-455, 2008.

COELHO FILHO, M. A. **Irrigação da cultura da mandioca**. Comunicado técnico (EMBRAPA) 172, Cruz das Almas-BA Abril, 2020.

COHEN, K. O.; OLIVEIRA, S. S.; CHISTÉ, R. C. **Quantificação de teores de compostos cianogênicos totais em produtos elaborados com raízes de mandioca**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. Belém-PA, ed. 1, v. 1, 23p. 2007.

CONCEIÇÃO, A. J. **A mandioca**. Cruz das Almas. 1979.

COSTA, J. F.; SANTOS, M. A. S.; REBELLO, F. K.; COSTA, D. A.; SILVA, J. S. A. política de crédito rural e os financiamentos à cultura da mandioca do Pará, 1990- 2012. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v.12, n 1, p. 1-14, 2016.

COSTA, P. S.; FERRAZ, R. L. S.; DANTAS NETO, J.; MARTINS, V. D.; VIÉGAS, P. R. A.; MEIRA, K. S.; NDHLALA, A. R.; AZEVEDO, C. A. V.; MELO, A. S. Seed priming with light quality and *Cyperus rotundus* L. extract modulate the germination and initial growth of *Moringa oleífera* Lam. seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e255836. DOI: 10.1590/1519-6984.255836, 2024.

CROPLIFE. **Crescente adoção de produtos biológicos no mundo, e o Brasil é protagonista nesse mercado**. Disponível em:<[https://croplifebrasil.org/produtosbiologicos/crescente-adocao-de-produtos-biologicos-no-mundo-e-o-brasil-e-protagonistanessemercado/#:~:text=A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20produtos%20biol%C3%B3gicos,para%20interromper%20o%20acasalamento\)%3B](https://croplifebrasil.org/produtosbiologicos/crescente-adocao-de-produtos-biologicos-no-mundo-e-o-brasil-e-protagonistanessemercado/#:~:text=A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20produtos%20biol%C3%B3gicos,para%20interromper%20o%20acasalamento)%3B)>. Acesso em: 17 nov. 2023.

DAHMANI, M. A.; DESRUT, A.; MOUMEN, B.; VERDON, J.; MERMOURI, L.; KACEM, M.; COUTOSTH' EVENOT, P.; KAID-HARCHE, M.; BERG' ES, T.; VRIET, C. Unearthing the plant growth-promoting traits of *Bacillus megaterium*

RmBm31, an endophytic bacterium isolated from root nodules of *Retama monosperma*. **Frontiers in Plant Science**. v. 11, 1-15. 2020.

DANTAS, F. R.; ARAÚJO, G. G. L.; SILVA, D. S.; PEREIRA, L. G. R.; GONZAGA NETO, S.; TOSTO, M. L. Composição química e características fermentativas de silagens de maniçoba (*Manihot* sp.) com percentuais de co-produto de vitivinícolas desidratado. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 9, n. 2, p. 247-257, 2008.

DANTAS, M. S. M.; ROLIM, M. M.; DUARTE, A. S.; PEDROSA, E. M. R.; TABOSA, J. N.; DANTAS, D. C. Crescimento do girassol adubado com resíduo líquido do processamento de mandioca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 350-357, 2015.

DI BENEDETTO, N. A.; CAMPANIELLO, D.; BEVILACQUA, A.; CATALDI, M. P.; CORBO, M.; SINIGAGLIA, M.; FLAGELLA, Z. **Characterization of autochthonous plant growth promoting bacteria in relation to durum wheat nitrogen use efficiency**. In: Proceedings of Plant Biology Europe Congress EPSO/FESPB, Prague Czech Republic, p. 26-30, 2016.

DI BENEDETTO, N. A.; CORBO, M. R.; CAMPANIELLO, D.; CATALDI, M. P.; BEVILACQUA, A.; SINIGAGLIA, M.; FLAGELLA, Z. The role of plant growth promoting bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. **Microbiology**, v.3, n.3, p.413- 434, 2017.

DORIGHELLO, D. V.; FORNER, C.; DE CAMPOS, R. M. V. B.; BETTIOL, W. Management of Asian soybean rust with *Bacillus subtilis* in sequential and alternating fungicide applications. **Australasian Plant Pathology**, v. 49, n. 1, p.79-86, 2020.

DUAN, B.; LI, L.; CHEN, G.; SU-ZHOU, C.; LI, Y; MERKERYAN, H.; LIU, W.; LIU, X. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase-producing plant growth-promoting rhizobacteria improve drought stress tolerance in grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Frontier in Plant Science**, v.12, p. 1-15, 2021.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema de Integração Lavoura-Pecuária em condições de sequeiro: garantia de reserva de forragem de qualidade, em forma de silagem, para o Semiárido**. 2018. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1102320/sistema-de-integracao-lavoura-pecuaria-em-condicoes-de-sequeiro-garantia-de-reserva-de-forragem-de-qualidade-em-forma-de-silagem-para-o-semiarido>>. Acesso em: 01 dez. 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.

Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil, 2019. Disponível em:<
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223209/1/SP-17-2020-online-1.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2023.

EPELDE, L.; BURGESS, A.; MIJANGOS, I.; GARBISU, C. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 1-12, 2014.

EZUI, K. S.; LEFFELAAR, P. A.; FRANKE, A. C.; MANDO, A.; GILLER, K. E. Simulating drought impact and mitigation in cassava using the model. **Fiel Crops Research**, v. 219, p. 256-272, 2018.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Protecting cassava, a neglected crop, from pests and diseases**. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca7117en/CA7117EN.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

FAO -FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food outlook biannual report on Global food markets**. p.152, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1277661/>. Acesso em: 10 ago. 2023.

FERREIRA, S. C.; NAKASONE, A. K.; NASCIMENTO, S. M. C.; OLIVEIRA, D. A.; SIQUEIRA, A. S.; CUNHA, E. F. M.; CASTRO, G. L. S.; SOUZA, C. R. B. Isolation and characterization of cassava root endophytic bacteria with the ability to promote plant growth and control the in vitro and in vivo growth of *Phytophthora* sp.

Physiological and Molecular Plant Pathology, v. 116, n. 101709. 2021.

FIRA, D.; DIMKIC, I.; BERIC, T.; LOZO, J.; STANKOVIC, S. Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species. **Journal of Biotechnology**, v. 285, p. 44-55, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2018.07.044>.

FLORES, J. M. M. **Morfologia e meiose em cultivares e escapees de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2013. 47 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

GOMES, J. C.; LEAL, E. C. Cultivo da mandioca para a região dos tabuleiros costeiros. **Embrapa Mandioca e Fruticultura, Sistemas de Produção**, v. 11, 2003.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, nº 95. 2001. Disponível em <
[http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/\\$FILE/Page1-5-95.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/$FILE/Page1-5-95.pdf)> Acesso em 15 dez. 2023.

GUILHERME, J. M. S.; SOUSA, G. G.; SANTOS, S. O.; GOMES, K. R.; VIANA, T. V. A. Água Salina e Adubação Fosfatada na cultura do amendoim. **Irriga**, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 704–713, 2021.

GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; KLEIN, D. K. Promoção de crescimento e solubilização de fosfato na cultura da soja: coinoculação de sementes com *Bradyrhizobium japonicum* e *Pseudomonas fluorescens*. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, e366101120078, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20078/17577>. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.20078>.

GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; KLEIN, D. K. Promoção de crescimento e solubilização de fósforo, por *B. megaterium* e *B. subtilis*, via inoculação de sementes, associado à fertilização fosfatada, na cultura da soja. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, e9812240062, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i2.4006>.

GUPTA, G.; PARIHAR, S. S.; AHIRWAR, N. K.; SNEHI, S. K.; SINGH, V. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. **Journal of Microbial and Biochemical Technology**, v. 7, n. 2, p. 96-102, 2015.

HAYDON, M. J.; MIELCZAREK O.; ROBERTSON F.C.; HUBBARD K.E.; WEBB A.A. Nutrient homeostasis within the plant circadian network. **Frontiers in Plant Science**, v.6, n.299, p.1-6, 2015.

HERNÁNDEZ, I.; MUNNÉ-BOSCH, S. Linking phosphorus availability with photooxidative stress in plants. **Journal of experimental botany**, v. 66, n. 10, p. 2889-2900, 2015.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina, Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Circular Técnica / Embrapa Soja, ISSN 1516-7860; n.35)

IGLESIAS, A.; QUIROGA, S.; MONEO, M.; GARROTE, L. From climate change impacts to the development of adaptation strategies: Challenges for agriculture in Europe. **Climate Change**, v. 109, p.1-26, 2011.

ISAIAS, C. O.; MARTINS, I.; SILVA, J. B. T. D.; SILVA, J. P. D.; MELLO, S. C. M. D. Ação antagônica e de metabólitos bioativos de *Trichoderma* spp. contra os patógenos *Sclerotium rolfsii* e *Verticillium dahlia*. **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 1, p. 34-41, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-54052014000100005>.

Jl, Y. Y.; DAI, Y. F.; CHEN, X.; LI, Z.; XIAO, Y.; YANG, L. Analysis of antibacterial effect and components of crude extract from *Bacillus megaterium* L2. **China Brew**, v. 38, n. 3, p. 120-124, 2019.

JOHANNNS, O.; CONTIERO, R. L. Efeitos de diferentes períodos de controle e convivência de plantas daninhas com a cultura da mandioca. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 3, p. 326-331, 2006.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach abiofertilizers. **International Journal of Agronomy**, v. 2019, p.1-7, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/4917256>.

KOUR. D.; RANA, K.L.; KAUR, T.; YADAV, N.; YADAV, A.N.; KUMAR, M.; KUMAR, V.; DHALIWAL, H.S.; SAXENA, A.K. Biodiversity, current developments and potential biotechnological applications of phosphorus-solubilizing and -mobilizing microbes: A review. **Pedosphere**, v. 31, n. 1, p. 43-75, 2021. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60057-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60057-1).

LOBO, L. D.; JÚNIOR, C. F. S.; NUNES. A importância socioeconômica da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para a comunidade de Jaçapetuba, município de Cametá-PA. **Multitemas**, v. 23, n. 55, p. 195-211, 2018.

LOPES, E. A. P.; SILVA, A. D. A.; MERGULHÃO, A. C. E. S.; SILVA, E. V. N.; SANTIAGO, A. D.; FIGUEIREDO, M. V. B. Co-inoculation of growth promoting bacteria and *Glomus clarum* in micropropagated cassava plants. **Revista Caatinga**. v. 32, n. 1, p. 152-166. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252019v32n116rc>.

MALUF, J. R. T.; MATZENAUER, R.; MALUF, D. E. **Zoneamento Agroclimático da Mandioca no Estado do Rio Grande do Sul – Uma alternativa para a produção de etanol**. Porto Alegre: Fepagro. Boletim Fepagro, n. 22, 60 p. 2011.

MARTINEZ, S. B.; POMÉS, J.; MASI, M. A.; CHALE, W.; DE BENEDETTO, J. P.; GARBI, M. Production and response to *Azospirillum brasilense* inoculation in two globe artichoke hybrids. **Acta Horticulturae**, v. 1147, p.213-216, 2016.

MASSUCATO, L. R.; ALMEIDA, S. R. A.; SILVA, M. B.; MOSELA, M.; ZEFA, D. M.; NOGUEIRA, A. F.; LIMA FILHO, R. B.; MIAN, S.; HIGASHI, A. Y.; TEIXEIRA, G. M.; SHIMIZU, G. D.; GIACOMIN, R. M.; FENDRICH, R. G.; FARIA, M. V.; SCAPIM, C. A.; GONÇALVES, S. L. A. Efficiency of Combining Strains Ag87 (*Bacillus megaterium*) and Ag94 (*Lysinibacillus* sp.) as Phosphate Solubilizers and Growth Promoters in Maize. **Microorganisms**, v. 10, p. 1401, 2022.

- MATOS, F. S.; FELICIO, R.; SILVA, L. M.; NASCENTE, A. C. DE S.; CUSTÓDIO, J. P. C.; GUIMARÃES, R. R.; SANTOS, P. G. DE F.; DA SILVEIRA, P. S. Produtividade de cultivares de mandioca sob déficit hídrico. **Agri-Environmental sciences**, v. 2, n. 1, p. 15-24, 2016.
- MCMAHON, J. M.; WHIT, W. L. B.; SAYRE, R. T. Review Article: Cyanogenesis in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of Experimental Botany**, v. 46, n. 7, p. 731-741, 1995.
- MELO, I. S. Agentes microbianos de controle de fungos fitopatogênicos. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Controle biológico**. Jaguariúna, SP: Embrapa, 1998. p. 17-67.
- MÉLO, N. D. F. M.; COELHO, D. G.; ANDRADE, M. T.; ALVES, J. O. Crescimento inicial de plantas de mandioca cv. Mossoró sob diferentes regimes hídricos. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.12, n.3, p.191-199, 2018.
- MENDES, R.; GARBEVA, P.; RAAIJMAKERS, J. M. The rhizosphere microbiome: significance of plant-beneficial, plant pathogenic and human-pathogenic microorganisms. **Microbiology Reviews**, v. 37, p. 634-663, 2013.
- MENDONÇA, J. J.; LIRA, J. M. A.; CARVALHO, E. X.; FRACETTO, G. G. M.; FRACETTO, F. J. C.; ALVES, M. J. G.; OLIVEIRA, J. P. Diversidade, mecanismos de atuação e potencial agrícola de bactérias promotoras de crescimento de plantas, usando milho como cultura exemplo. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 25, n. 2, 2020.
- MISRA, S.; CHAUHAN, P. S. ACC deaminase-producing rhizosphere competent *Bacillus* spp. mitigate salt stress and promote *Zea mays* growth by modulating ethylene metabolism. **3 Biotech**, v.10, n.3, p.1-14, 2020.
- MODESTO, J. M. S.; ALVES, R. N. B. **Cultura da mandioca: Aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria**. Brasília: Embrapa Amazônia Oriental. 257p. 2016.
- MOHAMMAD, S.; RAJASEKAR, B.; PATIL, R. K. Estimation of Soil Macro Arthropods in Cotton Intercropped with Groundnut under Organic, Integrated and Conventional Farming Systems. **International Journal Current Microbiology Applied Science**, v. 6, n. 6, p. 2424-2429, 2017.
- MORATH, S. U.; HUNG, R.; BENNETT, J. W. Fungal volatile organic compounds: a review with emphasis on their biotechnological potential. **Fungal Biology Reviews**, v. 26, p. 73-83, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2174/2211550105666160530104622>.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Lavras, 2. Ed. Universidade Federal de Lavras, p. 316, 2006. p.316.

MUHAMADALI, H.; XU, Y.; ELLIS, D. I.; TRIVEDI, D. K.; RATTRAY, N. J.; BERNAERTS, K.; GOODACRE, R. Metabolomics investigation of recombinant Mtnf α production in *Streptomyces lividans*. **Microbial cell factories**, v. 14, n. 1, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-015-0350-1>.

NUNES, H. T.; MONTEIRO, A. C.; POMELA, A. W. V. Uso de agentes microbianos e químico para o controle de *Meloidogyne incógnita* em soja. **Acta Scientiarum, Agronomy**, v. 32, n. 3, p. 403-409, 2010.

OLIVEIRA, J. O. A. P.; VIDIGAL FILHO, P. S.; TORMENA, C. A.; PEQUENO, M. G.; SCAPIM, C. A.; MUNIZ, A. S.; SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 443-450, 2011.

OLIVEIRA, M. A.; MORAES, P. S. B. Características físico-químicas, cozimento e produtividade de mandioca cultivar IAC 576-70 em diferentes épocas de colheita. **Ciência e agrotecnologia**, v. 33, n. 3, p. 837-843, 2009.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SANTOS, F. C.; COTA, L. V.; SOUSA, S. M.; ALVES, V. M. C.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. F. **Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação**. Sete Lagoas - MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2021b. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo). Comunicado Técnico, 252).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; ALVES, V. M. C.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M.; SANTOS, F. C.; SOUZA, F. F.; LANDAU, E. C.; PINTO JUNIOR, A. S.; LANA, U. G. P. **Validação da recomendação para o uso do inoculante BiomaPhos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) na cultura de soja**. Sete Lagoas -MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2021a. 19 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 279).

OWEN, D.; WILLIAMS, A.; GRIFFITH, G.; WITHERS, P. Use of commercial bioinoculants to increase agricultural production through improved phosphorous acquisition. **Applied Soil Ecology**, v. 86, p. 41-54, 2015.

PARFITT, J. M. B.; CONCENÇO, G.; SCIVITTARO, W. B.; ANDRES, A. **Práticas de Manejo de Solo em Cultivos de Sequeiro em Terras Baixas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2019.

PAVINATO, P. S.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G. C.; CHERUBIN, M. R. Acúmulo de fósforo no solo em áreas agrícolas no Brasil: Diagnóstico atual e Potencialidades Futuras. **Informações Agronômicas (NPCT)**, n. 9, 56 p. 2021.

PEREIRA, J. W. L.; MELO FILHO, P. A.; ALBUQUERQUE, M. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 766-773, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000400019>

PINHEIRO, V. J. F.; CARDOSO, D. F. S. R.; SILVA, E. R. M.; BARBOSA, I. C. C. Fertilidade do solo de um horto as margens do rio Inhangapi e os impactos qualitativos sob o corpo hídrico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 3, p. 256-264, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v15i3.7710>.

PORTO, E. M. V.; AMARO, H. T. R.; ALVES, D. D.; ANDRADE, W. R.; RUFINO, L. D. A.; GOMES, V. M. O capim Andropogon. **Informe agropecuário**, v. 43, n. 317, p. 26-36, 2022.

QUEIROZ, A. T. S.; OLIVEIRA, B. C. Ação de microrganismos promotores do crescimento de plantas: uma revisão sistemática da literatura. **Revista PsiPro / PsiPro Journal**, v. 2, n. 5, 2023.

QUIGLEY, E. M. M. Prebiotics and probiotics; modifying and mining the microbiota. **Pharmacological Research**, v. 61, p. 213-218, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2010.01.004> .

REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017.

RIBEIRO, R. M. R.; SOUSA, G. G.; BARBOSA, A. S.; LACERDA, C. F.; FREIRE, M. H. C.; MORAES, J. G. L. Estratégias de irrigação com água salina e adubação fosfatada na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 3, e2572, 2022.

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.

RIVAS, D. V.; RAMIREZ, R. M.; PINO, M. M.; CRUZ, M. T. CALDERÓN, L. R.; SANTOS, R. C.; CARRERA, C. O.; VÁSQUEZ, M. G.; VALQUE, R. B. Factors related to the starch content during the extraction process of Cassava (*Manihot Esculenta* Crantz.) Crop. **Annals of the Romanian Society for Cell Biology**, v. 25, ed. 4, p. 10441-10448, 2021.

SAGRILO, E.; VIDIGAL FILHO, P. S.; PEQUENO, M. G.; SCAPIM, C. A.; GONÇALVEZ-VIDIGAL, M. C.; MAIA, R. R.; KVITSCHAL, M. V. Efeito da época de colheita no crescimento vegetativo, na produtividade e na qualidade de raízes de três cultivares de mandioca. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 115-125, 2002.

SANTOS, A. F.; CORRÊA, B. O.; KLEIN, J.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, L. C.; GUIMARÃES, V. F.; FERREIRA, M. B. Biometria e estado nutricional da cultura da aveia branca (*Avena sativa* L.) sob inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 10, n. 5, pág. e53410515270, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i5.15270.

SARR, P. S.; SUGIYAMA, A.; BEGOUDE, A. D. B.; YAZAKI, K.; ARAKI, S.; NAWATA, E. Diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) croplands in Cameroon as revealed by Illumina MiSeq. **Rhizosphere**. v. 10, p.100-147, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100147>

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050984510>.

SCHURT, D. A.; SEABRA, S. S. S.; SILVA, A. A.; MEDEIROS, F. H. V. Tratamentos químicos e biológicos de sementes para controle da mela do feijão-caupi. **Agri-Environmental Sciences**, v. 3, n. 1, p. 30-36, 2017.

SEDIYAMA, T. **Produtividade da soja**. Londrina: Mecenas, p.310, 2016.

SIGNORE, A.; SERIO, F.; SANTAMARIA, P. A. A Targeted management of the nutrient solution in a soilless tomato crop according to plant needs. **Frontiers Plant Science**, v.7, n.391, p.1-15, 2016.

SILVA, B. E. L.; BARBOSA, S. K. J.; BARBOSA, F. P. J. Aspectos gerais e peculiaridades sobre mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Diversitas Journal**, v. 3, n. 1, p. 13-23, 2018.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; NUNES, R. S. Fósforo. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: volume 2, nutrientes**. Piracicaba: INPI - Brasil, 2016. p.67-132.

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. 40, p. 867-877, 2021.

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 43 *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.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S. **Sistema de Produção de Mandioca no Semiárido**. EMBRAPA. , p. 01-58, 2021.

SOUZA, R. D.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and molecular biology**, v. 38, p. 401-419, 2015.

SUDERMAN, N.; ISA, M. I. N.; SARBON, N. M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. **Food Bioscience**, v. 24, p. 111-119, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ªed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEIXEIRA, M. A.; MELO, I. S.; VIEIRA, R. F.; COSTA, F. E. C.; HARAKAVA, R. Microrganismos endofíticos de mandioca de áreas comerciais e etnovarietades em três estados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 42, p. 43-49. 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000100006>.

TEIXEIRA, P. R. G.; VIANA, A. E. S.; CARDOSO, A. D.; MOREIRA, G. L. P.; MATSUMOTO, S. N.; RAMOS, P. A. S. Physical-chemical characteristics of sweet cassava cultivars. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 158-165, 2017b.

TIRONI, L. F.; UHLMANN, L. O.; STRECK, N. A.; SAMBORANHA, F. K.; FREITAS, C. P. DE O.; SILVA, M. R. Performance of cassava cultivars in subtropical environment. **Bragantia**, v. 74, n.1, p. 58-66. 2015.

TOCHETO, G. H. G.; BOIAGO, N. P. Formas de aplicação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasiliense* coinoculados na cultura do feijão. **Cultivando o Saber**, v. 13, n. 2, p. 37-48, 2020.

VALLE, T. L.; CARVALHO, C. R. L.; RAMOS, M. T. B.; MÜHLEN, G. S.; VILELA, V. O. Conteúdo cianogênico em progênies de mandioca originadas do cruzamento de cultivares mansas e bravas. **Bragantia**, v. 63, n. 2, p. 221-226, 2004.

VARY, P. S.; BIEDENDIECK, R.; FUERCH, T.; MEINHARDT, F.; ROHDE, M.; DECKWER, W.D.; JAHN, D. *Bacillus megaterium* from simple soil bacterium to industrial protein production host. **Appl microbiol biotechnol.** v. 76, n. 5, p. 957-967, 2007.

VELÁZQUEZ-GURROLA, A.; RAMOS-ALEGRIA, M. P. Benefícios de microorganismos solubilizadores de P y K em la recuperación y mantenimiento de suelos agrícolas. In: VIII Congreso Mundial de la Palta, 8, 2015, Lima. **Actas.** Lima: ProHass, 2015, p. 495-499.

VELLOSO, C. C. V.; OLIVEIRA, C. A.; GOMES, E. A.; LANA, U. G. P.; CARVALHO, C. G.; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M.; SOUSA, S. M. Genome-guided insights of tropical *Bacillus* strains efficient in maize growth promotion. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 96, n. 9, p. 157, 2022.

VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; PICCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CERRI, C. C. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais – Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 599-610, 2008.

VIANA, A. E. S.; SEDIYAMA, T.; LOPES, S. C.; CECON, P. R. SILVA, A. A. Avaliação de métodos de preparo de manivas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Ciência e agrotecnologia**, Edição Especial, p.1383-1390, 2002.

VIDAL, M. C.; SALDANHA, R.; VERISSIMO, M. A. A. Bioinsumos: o programa nacional e a sua relação com a produção sustentável. In: GINDRI, D. M.; MOREIRA, P. A. B.; VERISSIMO, M. A. A. **Sanidade vegetal: uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável.** Ed. 1. Florianópolis: CIDASC, 2020. p.486.

VIEIRA NETO, S. A.; PIRES, F. R.; MENEZES, C. C. E.; MENEZES, J. F. S.; SILVA, A. G.; SILVA, G. P.; ASSIS, R. L. Formas de aplicação de inoculantes e seus efeitos sobre a nodulação da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 861-870, 2008.

SILVA, M. O.; SANTOS, M. P.; SOUSA, A. C. P.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A. de; SILVA, R. S.; COSTA, K. D. S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável / Soil quality: biological indicators for sustainable management. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853–6875, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-463.

WANG, X. Q.; ZHAO, D. L.; SHEN, L. L.; JING, C. L.; ZHANG, C. S. Application and mechanisms of *Bacillus subtilis* in biological control of plant disease. In: MEENA, V. (Eds.) Role of rhizospheric microbes in soil. **Springer**, 2018.

WERNER, C. J.; PETER, M.; BALEM, E. M.; BELLÉ, C.; CEOLIN, E. L.; ZANATTA, T. P.; AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T. Adubação fosfatada em soja: produtividade e qualidade fisiológica das sementes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 36157–36177, 2020.

ZAREI, T.; MORADI, A.; KAZEMEINI, S. A.; FARAJEE, H.; YADAVI, A. Improving sweet corn (*Zea mays* L. var *saccharata*) growth and yield using *Pseudomonas fluorescens* inoculation under varied watering regimes. **Agricultural Water Management**, v. 226, 2019.

ZHAO, J. Y.; XIAO, Y.; YANG, L.; ZHANG, S.; JI, Y. Y.; LI, Z. Antibacterial Mechanism of Fermentation Product from *Bacillus megaterium* L2 against *Erwinia carotovora* sub sp. *Carotovora*. **Food Science**, v. 40, n.21, p. 14-20, 2019.

ZHU, Y., LUO, X., NAWAZ, G., YIN, J. E YANG, J. Physiological and biochemical responses of four cassava cultivars to drought stress. **Scientific reports**, v. 10, p. 1-12, 2020.

CAPÍTULO I

ADUBAÇÃO FOSFATADA E *Bacillus megaterium* NO DESEMPENHO AGRONÔMICO E PRODUTIVIDADE DE MANDIOCA cv. BRANQUINHA

Artigo a ser submetido no periódico Journal of Agronomy and Crop Science

(A1)

RESUMO

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) possuem a capacidade de induzir o desenvolvimento das plantas mediante a otimização da absorção de água e nutrientes via produção de metabolitos. O *Bacillus megaterium*, exemplo de BPCP, possui a capacidade de facilitar a solubilização do fósforo e outros nutrientes. Portanto, objetivou-se avaliar as características biométricas e a produtividade de plantas de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, inoculadas com *B. megaterium* associada a adubação fosfatada. O experimento teve o período entre fevereiro de 2023 a fevereiro de 2024, foi realizado em uma propriedade rural no município de Chapadinha-MA. O material vegetal utilizado foi a mandioca cv. Branquinha para farinha sob cultivo de sequeiro, o plantio foi realizado em covas com dimensões de 10 x 10 x 10 cm e espaçamento de 1,0 m x 1,0 m. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com arranjo fatorial 4 x 3, (quatro doses de *B. megaterium* [D0: 0; D1: 1,0; D2: 2,0; D3: 3,0 L ha⁻¹] aplicadas no sulco de plantio e três doses de adubação fosfatada [P0: 0% - sem adubação fosfatada; P50: 50% e P100: 100% da recomendação e controle], com cinco repetições, totalizando 60 parcelas. As variáveis analisadas foram: altura das plantas; altura da primeira ramificação; diâmetro das plantas; produtividade total; produtividade da raiz comercial; produtividade da raiz não comercial; peso médio de raízes tuberosas; peso médio da parte aérea; peso médio de raízes comerciais; matéria seca da raiz; matéria seca da parte aérea; índice de colheita. Para a análise estatística foi realizado a hipótese de normalidade, utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5%. Após confirmação de normalidade, procedeu-se a análise de variância, e realizado o teste Tukey, para efeitos significativos os dados foram explorados por regressão. Houve efeito significativo para as variáveis: altura das plantas; diâmetro das plantas; número de raízes comerciais por planta; peso médio de raízes comerciais; massa seca da raiz; massa seca parte aérea; produtividade total; produtividade da raiz comercial; número de raízes comerciais por planta; peso médio de raízes comerciais. Conclui-se que a dose de inoculante de *Bacillus megaterium* de 2 L ha⁻¹ em conjunto com as proporções de adubação fosfatada em 50 e 100% da recomendação influenciam de forma positiva sobre a biometria e produtividade de raízes comerciais de plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. Branquinha sob cultivo de sequeiro, no Leste Maranhense, portanto, recomenda-se a dose menor.

PALAVRAS-CHAVE: *Manihot esculenta* Crantz, Bactéria promotora de crescimento de planta, Produção

ABSTRACT

Plant growth-promoting bacteria (BPCP) have the ability to induce plant development by optimizing water and nutrient absorption via the production of metabolites. *Bacillus megaterium*, an example of BPCP, has the ability to facilitate the solubilization of phosphorus and other nutrients. Therefore, the objective was to evaluate the biometric characteristics and productivity of cassava plants cv. Branquinha in dryland, inoculated with *B. megaterium* associated with phosphate fertilizer. The experiment lasted from February 2023 to February 2024, it was carried out on a rural property in the municipality of Chapadinha-MA. The plant material used was cassava cv. Branquinha for flour under rainfed cultivation, planting was carried out in holes with dimensions of 10 x 10 x 10 cm and spacing of 1.0 m x 1.0 m. The experimental design adopted was in randomized blocks, with a 4 x 3 factorial arrangement, (four doses of *B. megaterium* [D0: 0; D1: 1.0; D2: 2.0; D3: 3.0 L ha⁻¹] applied in the planting furrow and three doses of phosphate fertilizer [P0: 0% - without phosphate fertilizer; P50: 50% and P100: 100% of the recommendation and control], with five replications, totaling 60 plots. plant height; height of the first branch; total productivity of the commercial root; average weight of the aerial part; aerial part dry matter; harvest index. For statistical analysis, the hypothesis of normality was carried out, using the Kolmogorov-Smirnov test, with a significance level of 5%. After confirming normality, analysis of variance was carried out. and the Tukey test was performed, for significant effects the data were explored by regression. There was a significant effect for the variables: plant height; plant diameter; number of commercial roots per plant; average weight of commercial roots; dry root mass; dry mass aerial part; total productivity; commercial root productivity; number of commercial roots per plant; average weight of commercial roots. It is concluded that the dose of *Bacillus megaterium* inoculant of 2 L ha⁻¹ together with the proportions of phosphate fertilizer at 50 and 100% of the recommendation positively influence the biometrics and productivity of commercial roots of cassava plants (*Manihot esculenta* Crantz) cv. Branquinha under rainfed cultivation, in Eastern Maranhão, therefore, a lower dose is recommended.

KEYWORDS: *Manihot esculenta* Crantz, Plant growth-promoting bacteria, Production

1 INTRODUÇÃO

O Maranhão possui uma área plantada de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) de 56.414 ha, que o coloca em 7º lugar do ranking nacional (IBGE, 2022). Esse destaque na produção da mandioca poderia ser maior dada as suas características edafoclimática e a sua dimensão territorial. No entanto, é imprescindível a realização de estudos que possam maximizar a produtividade da cultura. O estado tem baixa produtividade de mandioca. Em 2020, por exemplo, produziu em média 7.699 kg.ha⁻¹, ou seja, 49% menos que a média nacional que é de 14.996 kg.ha⁻¹, esses dados demonstram claramente a queda nesse ranking, indo da 7ª posição em área plantada, para 14ª no quesito quantidade produzida (IBGE, 2022).

A baixa tecnificação no que diz respeito a irrigação, faz com que os plantios sejam realizados em regime de sequeiro, o que resulta em 3 a 4 meses de estiagem (Lima, 2021). A adoção de práticas adequadas e que incluam um bom manejo nutricional, são os pontos cruciais para a melhoria da produtividade, porém esta necessidade vai de encontro a escassez e aos altos valores dos fertilizantes comerciais. Sendo dessa forma necessário o estudo de estratégias que maximizem a eficiência dos adubos, tais como as bactérias promotoras do crescimento das plantas (BPCP).

As BPCP possuem a capacidade de induzir o desenvolvimento das plantas mediante a otimização da absorção de água e nutrientes via produção de metabolitos importantes, como os ácidos orgânicos, fitohormônios e enzimas (Aquino *et al.*, 2022; Benavides *et al.*, 2023; Messias *et al.*, 2023; Cardoso *et al.*, 2024), que desempenham papel importante no metabolismo vegetal. Sendo assim, o uso de BPCP pode ser considerado como uma prática sustentável que, além de agregar valor econômico ao produto (Luz *et al.*, 2006; Santos e Varavallo, 2011) pode reduzir os custos com fertilizantes (Bizos *et al.*, 2020), como os microrganismos para a gestão e solubilização de nutrientes do solo (Saadatfar *et al.*, 2020; Abd El Mageed *et al.*, 2022).

O *B. megaterium*, um exemplo de BPCP, possui a habilidade de proporcionar diversos benefícios para o crescimento das plantas, como facilitar a solubilização do fósforo, potássio, produção de hormônios vegetais, enzimas e proteção contra patógenos, essas funcionalidades estão relacionadas aos mecanismos primários desse microrganismo. Para os mecanismos secundários, envolve a promoção do aumento da absorção de outros nutrientes e água, e conseqüentemente o estímulo para o desenvolvimento do sistema radicular (Cassán *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2022). Dahmani *et al.* (2020), afirmam que *B. megaterium* são bactérias endofíticas promotoras de

crescimento de plantas que atua na síntese de compostos voláteis que proporcionam o crescimento e desenvolvimento vegetal.

Os bioinsumos possuem em sua composição BPCP ou fungos, e esse mercado torna-se promissor, juntamente com o potencial produtivo da cultura. Tendo em vista, a inoculação da *B. megaterium* e diferentes doses de adubação fosfatada demonstra-se como uma alternativa de manejo em cultivos de sequeiro, como a cultura da mandioca. Portanto, objetivou-se avaliar o desempenho agrônômico e a produtividade de plantas de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, inoculadas com *Bacillus megaterium* associada a adubação fosfatada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi executado durante 12 meses, com início em fevereiro de 2023 e término em fevereiro de 2024. Foi realizado em uma propriedade rural (3°46'24"S 43°16'42"W) com altitude de 107 m, no município de Chapadinha-MA. O clima da região é classificado como tropical úmido (Selbach; Leite, 2008), com precipitação pluviométrica anual média que varia de 1.600 a 2.000 mm (Nogueira *et al.*, 2012) e temperatura média anual superior a 27 °C (Passos; Zambrzycki; Pereira, 2016). Os dados referentes à temperatura, umidade e precipitação no período da condução do experimento estão apresentados na Figura 1 e 2 respectivamente. Os dados climatológicos foram coletados da plataforma INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

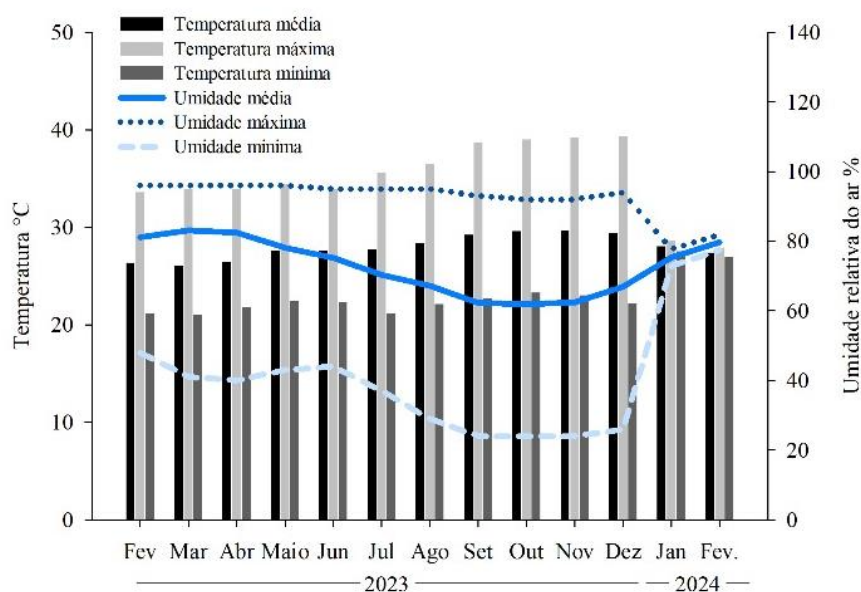


Figura 1. Temperatura (°C) e umidade (%) média, máxima e mínima decorrentes dos meses do experimento, Chapadinha-MA, 2023/2024

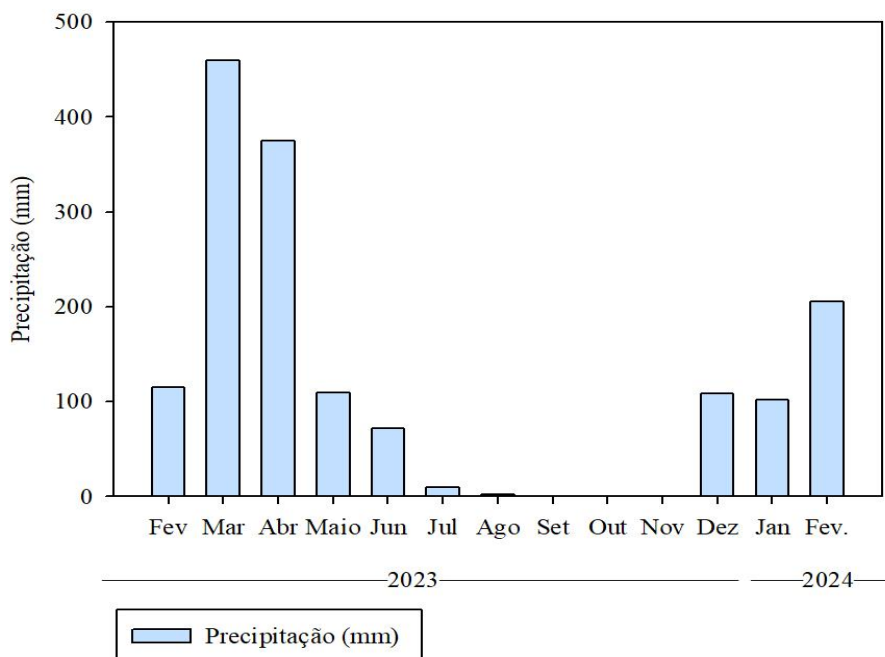


Figura 2. Precipitação (mm) decorrentes dos meses do experimento, Chapadinha-MA, 2023/2024

O material vegetal utilizado foi a mandioca (*M. esculenta* Crantz) cultivar Branquinha sob cultivo de sequeiro, e o plantio foi realizado em covas com dimensões de 10 x 10 x 10 cm (comprimento x largura x profundidade), adotando um espaçamento de 1,0 m x 1,0 m. O controle de plantas espontâneas foi realizado até o fim do experimento entre as linhas de cultivo, com o auxílio de enxada, para manter a cultura livre de competição. Houve incidência da mosca-branca nos primeiros meses de estabelecimento da cultura, logo, para o monitoramento fitossanitário, a medida corretiva foi a utilização do fungo *Beauveria bassiana* e *Cromobactéria* no qual foram aplicados utilizando-se uma bomba costal com capacidade de 20 L, foram realizadas 4 aplicações intercaladas entre os dois microrganismos.

Realizou-se a correção e adubação do solo em função da análise do solo (Tabela 1), e conforme a necessidade da cultura, respeitando os tratamentos experimentais. Para a adubação de cobertura, foram aplicados 17g de super triplo por cova para cada tratamento com 100%, e 8,5g de super triplo por cova para as de 50%. Para adubação de cobertura, as proporções utilizadas foram de 11,4 g de ureia e 20,4 g de cloreto de potássio (KCl) por cova.

Tabela 1. Valores de pH (potencial hidrogeniônico), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Z) do solo

Solo	pH CaCl ₂	P (res) —mg.dm ⁻³ —	S	K (res) ——mmolc.dm ⁻³ ——	Ca	Mg	Al	B	Cu	Fe	Mn	Z
0-20	3,9	5	3	0,3	10	6	12,70	0,21	2,6	64	4,2	1,4

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com arranjo fatorial 4 x 3, correspondente a doze tratamentos (quatro doses de *Bacillus megaterium* - concentração 1×10^9 UFC.L⁻¹) [D0:0; D1:1,0; D2:2,0; D3:3,0 L ha⁻¹] aplicadas nas covas de plantio e três doses de adubação fosfatada [P0: 0% - sem adubação fosfatada; P50: 50 % e P100: 100% da recomendação e controle], com cinco repetições, totalizando 60 parcelas. Cada parcela foi composta por 10 plantas, onde a área útil selecionada foi de 5 plantas, totalizando 600 plantas na área experimental onde destas 300 plantas foram avaliadas.

Foram realizadas avaliações a cada 60 dias até o fim do experimento, no qual as variáveis biométricas e produtivas segundo Vidigal Filho *et al.* (2000) foram: altura média das plantas (ALTPLAN): expressa em m, obtida pela medição a partir do nível do solo até o broto terminal de todas as plantas da área útil da parcela; altura média da primeira ramificação (ALTRAMI): expressa em cm, obtida pela medição do nível do solo até o ponto da primeira ramificação de todas as plantas da área útil da parcela; diâmetro médio das plantas (DPLAN): expresso em mm, obtido pela medição do diâmetro do caule.

Ao final do experimento foram avaliadas as características agrônomicas produtividade total (PRODT) expressa em t.ha⁻¹, obtida por meio da média da pesagem da parte aérea e raiz das plantas da área útil da parcela experimental; produtividade da raiz comercial (PRODRC): expressa em t.ha⁻¹, obtida por meio da média da pesagem de todas as raízes comerciais da área útil da parcela experimental; produtividade da raiz não comercial (PRODRNC): expressa em t.ha⁻¹, obtido por meio da média da pesagem de todas as raízes não comerciais da área útil da parcela experimental; peso médio de raízes tuberosas (PMR): expressa em kg, obtida pela pesagem das raízes de todas as plantas da área útil da parcela experimental; peso médio da parte aérea (PMPAER): expressa em kg, obtida pela pesagem da parte aérea de todas as plantas da área útil da parcela experimental; peso médio de raízes comerciais expressa em kg (PRC) obtido pela

pesagem de todas as raízes comerciais; teor de matéria seca da raiz (MSR): expresso em (g), obtido a partir de uma amostra de 5 kg de raízes tuberosas coletada em cada parcela experimental, conforme método descrito por Grossmann e Freitas (1950); teor de matéria seca da parte aérea (MSPA): expresso em (g), obtido a partir de uma amostra das folhas das plantas coletada em cada parcela experimental; índice de colheita (IC): expresso em %, obtido por meio do cálculo $IC = 100 \times (\text{massa fresca das raízes}) / (\text{massa fresca total da planta})$; número de raízes comerciais por planta (N°RC) obtida a partir da contagem direta das raízes que apresentavam diâmetro maior ou igual a 2 mm e comprimento maior ou igual a 10 cm.

Para a análise estatística dos dados foi realizado a hipótese de normalidade dos resíduos, utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov, adotando um nível de significância de 5%. Após confirmação da normalidade dos dados, procedeu-se à realização da análise de variância (ANOVA) para verificar os efeitos dos tratamentos, e teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a ANOVA (Tabela 2), houve efeito significativo para a interação entre os dois fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para as variáveis biométricas altura média das plantas (ALTPLAN), diâmetro médio das plantas (DPLAN), produtividade da raiz comercial (PRODRC), número de raízes comerciais (N°RC), peso de raízes comerciais (PRC), massa seca das raízes (MSR), e massa seca da parte aérea (MSPA). Para o fator isolado adubação fosfatada, houve significância apenas para massa seca da parte aérea (MSPA). E para o fator isolado dose de inoculante, houve efeito significativo para altura média das plantas (ALTPLAN), diâmetro médio das plantas (DPLAN), produtividade total (PRODT), e para massa seca da parte aérea (MSPA).

Tabela 2. Valor de F e significância dos fatores para as variáveis: altura média das plantas (ALTPLAN), altura da primeira ramificação (ALTRAMI), produtividade total (PRODT); produtividade da raiz comercial (PRODRC); produtividade da raiz não comercial (PRODRNC); índice de colheita (IC); número de raízes comerciais (N°RC); peso médio das raízes (PMR); peso médio das raízes comerciais (PRC); massa seca da raiz (MSR); peso médio da parte aérea (PMPAER) e massa seca parte aérea (MSPA) de mandioca cv. Branquinha, 2023/2024 Inserir as outras variáveis no texto

Variável	ALTPLAN	ALTRAMI	DPLAN	PRODT	PRODRC	PRODRNC	IC%	N°RC	PMR	PRC	MSR	PMPAER	MSPA
	Valor de F												
Adubação Fosfatada (P)	1.557 ^{ns}	0.621 ^{ns}	2.457 ^{ns}	1.846 ^{ns}	1.580 ^{ns}	0.876 ^{ns}	0.191 ^{ns}	0.371 ^{ns}	1.988 ^{ns}	1.580 ^{ns}	0.212 ^{ns}	0.965 ^{ns}	6.608 [*]
Dose de inoculante (D)	8.490 [*]	2.26 ^{ns}	5.842 [*]	4.453 [*]	2.024 ^{ns}	0.528 ^{ns}	0.440 ^{ns}	2.213 ^{ns}	2.050 ^{ns}	2.024 ^{ns}	0.423 ^{ns}	2.166 ^{ns}	7.804 [*]
P x D	3.821 [*]	0.74 ^{ns}	2.492 [*]	1.279 ^{ns}	2.481 [*]	1.275 ^{ns}	0.821 ^{ns}	3.098 [*]	1.265 ^{ns}	2.481 [*]	2.920 [*]	0.836 ^{ns}	4.792 [*]

A altura média das plantas (Figura 3) houve interação entre os fatores adubação fosfatada*dose do inoculante. Para a proporção de 50% de adubação fosfatada nota-se que ao ser submetido em doses de 1 a 2 L ha⁻¹ houve um declínio na curva, em conjunto com a dose de 3 L ha⁻¹ houve um aumento significativo. Para a proporção de 0% do adubo, as doses de mantiveram estáveis, diferente da proporção com 100% de adubação que obteve um ponto máximo em torno de 2,2 L ha⁻¹ do inoculante, e a dose maior ocasionou um declínio.

A combinação de 50% da recomendação de adubação fosfatada com a dose de inoculante de 3 L ha⁻¹ resultou em uma altura média de plantas de 2,64 m. Entretanto para a cultivar branquinha que foi objeto de estudo do presente trabalho ainda não há muitos dados na literatura. Esta altura, está dentro do intervalo normal para outros tipos de cultivares indo de 1,0 a 5,0 m conforme descrito por Otsubo *et al.* (2009), além de evidenciar um desenvolvimento robusto das plantas tratadas com essa combinação específica.

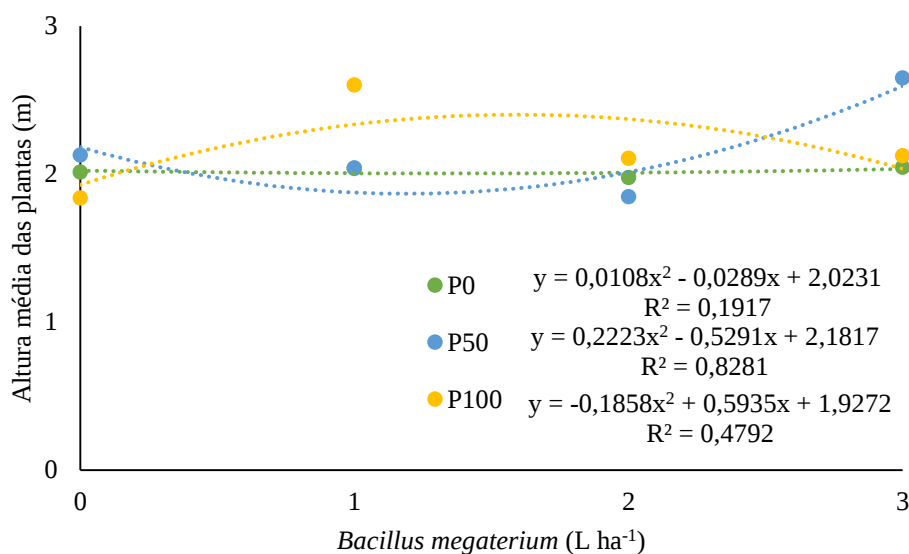


Figura 3. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável altura média da planta (m) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Em seu estudo, Zhao *et al.* (2021) observaram resultado semelhante ao testar o uso de *B. megaterium* com redução da adubação fosfatada, o que corrobora com os resultados obtidos. Os autores atribuíram o aumento do crescimento vegetal ao impacto positivo do *B. megaterium* na comunidade microbiana do solo, que inclui o aumento da abundância de microrganismos benéficos e a redução de patógenos.

Para o diâmetro médio das plantas (DPLAN) a curva referente a proporção de 100% de adubação fosfatada obteve melhores e seu ponto ótimo foi em torno de 2,32 L ha⁻¹ do inoculante à base de *B. megaterium* (Figura 4). Obter DPLAN maiores é essencial uma vez que possibilitam maiores ofertas de reservas, que são translocadas para o sistema radicular e favorecendo o seu desenvolvimento, além de uma melhor robustez das plantas (Tironi *et al.*, 2015; Schoffel *et al.*, 2023).

Adicionalmente, plantas com diâmetros maiores tendem a priorizar o armazenamento de carboidratos e sólidos solúveis nos tecidos do caule, essenciais para a translocação durante o período de acúmulo de amido nas raízes, o que resulta em maior número de raízes e maior massa fresca da raiz (Schoffel *et al.*, 2023). Quando disponibilizados quantidades adequadas de fósforo, a fotossíntese é maximizada e com isso a produção de biomassa, refletindo diretamente no crescimento e diâmetro do caule Schachtman *et al.* (2020).

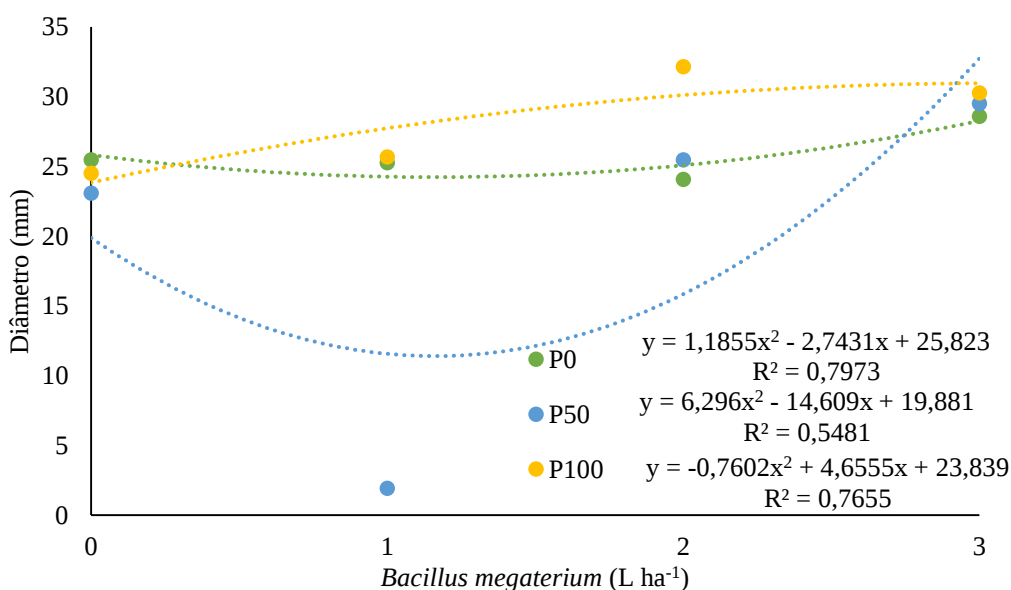


Figura 4. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável diâmetro médio das plantas (DPLAN) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Em relação as variáveis de produtividade, houve efeito significativo para o fator isolado dose de inoculante apenas para a produtividade total (PRODT) da mandioca (Figura 5). Quando as plantas foram submetidas a dose máxima de 3 L ha⁻¹ do inoculante demonstrou-se mais responsiva, alcançando em média 19,18 t.ha⁻¹. No entanto, produtividade obtida no presente estudo demonstra-se abaixo do esperado.

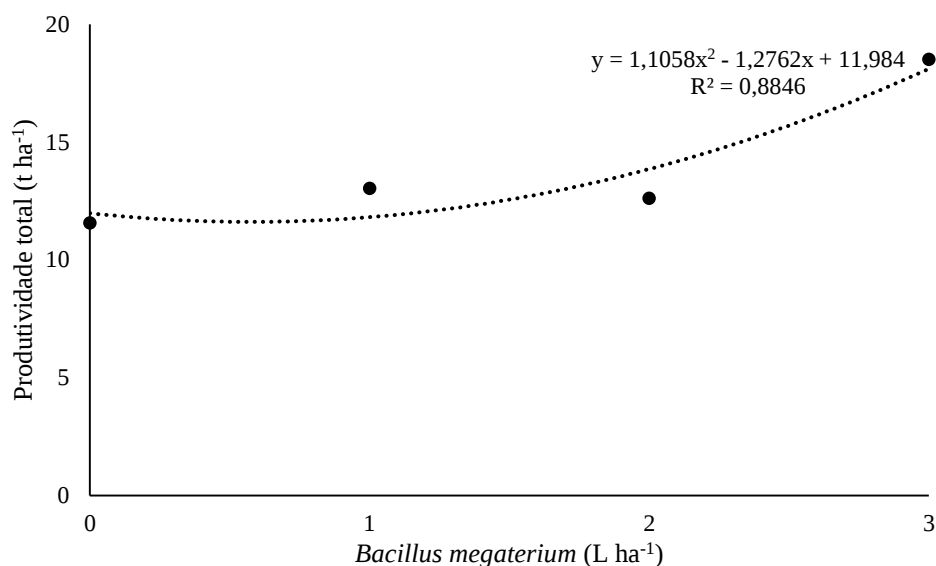


Figura 5. Fator dose de inoculante para a variável produtividade total (PRODT) para o sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Estratégias que envolvem a aplicação de bioprodutos e a redução no uso de fertilizantes minerais não apenas protegem o ambiente do solo, mas também são economicamente vantajosas e enriquecem o solo com nutrientes prontamente disponíveis para as plantas (Plaza *et al.*, 2021). Além disso, produtos biológicos promovem o crescimento e desenvolvimento das plantas, especialmente o sistema radicular, o que potencializa a absorção de nutrientes, incluindo ferro, resultando em maior produtividade (Plaza *et al.*, 2021).

Por outro lado, a produtividade da raiz comercial (PRODRC) foi influenciada ($p < 0,05$) pela interação entre os dois fatores adubação fosfatada*dose do inoculante. Houve um maior incremento para a proporção com 50% de adubação fosfatada à medida que se aumentava a dose em torno de 2 e 3 L ha⁻¹. A combinação de adubação fosfatada com inoculante proporciona o aumento da produtividade de culturas comerciais (Souza *et al.*, 2023). Isso também foi observado no presente estudo, onde a combinação desses dois fatores proporcionou aumento da PRODRC.

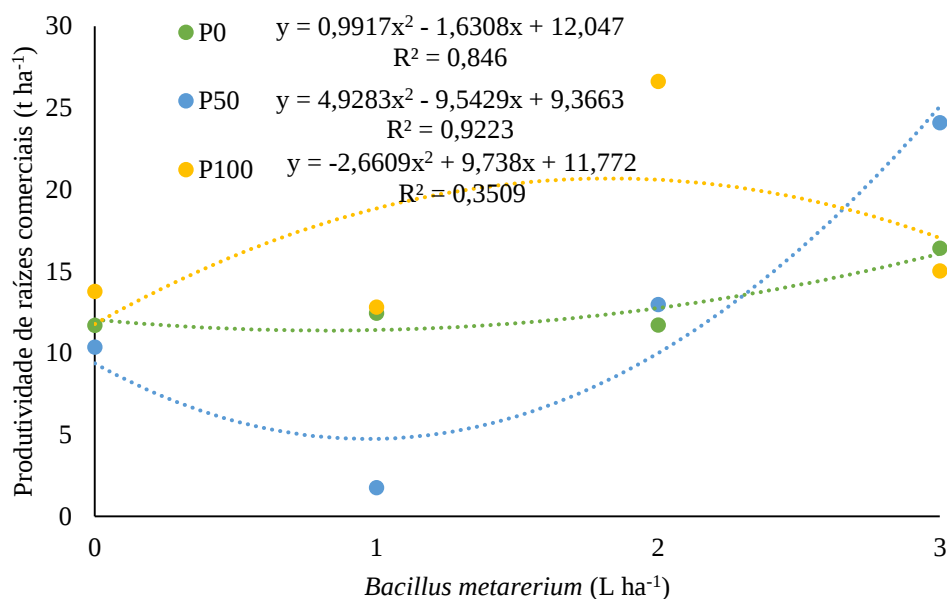


Figura 6. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável produtividade de raízes comerciais (PRODRC) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Para o N°RC houve efeito significativo para a interação entre os fatores (Figura 7). Notou-se que a combinação de 50% de adubação fosfatada em conjunto com a dose de 3 L ha⁻¹ de inoculante a base de *B. megaterium* registrou o melhor resultado para essa variável, obtendo o seu ponto ótimo entre 1 e 2 L ha⁻¹. O número de raízes comerciais por planta é uma das principais variáveis principalmente quando se trata de culturas no qual o interesse econômico é concentrado na sua raiz, como o caso da mandioca. Porém, a média para essa variável foi de 3,81 número de raízes, o que se encontra abaixo do esperado. Autores como Tironi *et al.* (2015) obtiveram médias em torno de 8,57 avaliando diferentes cultivares e anos de cultivo.

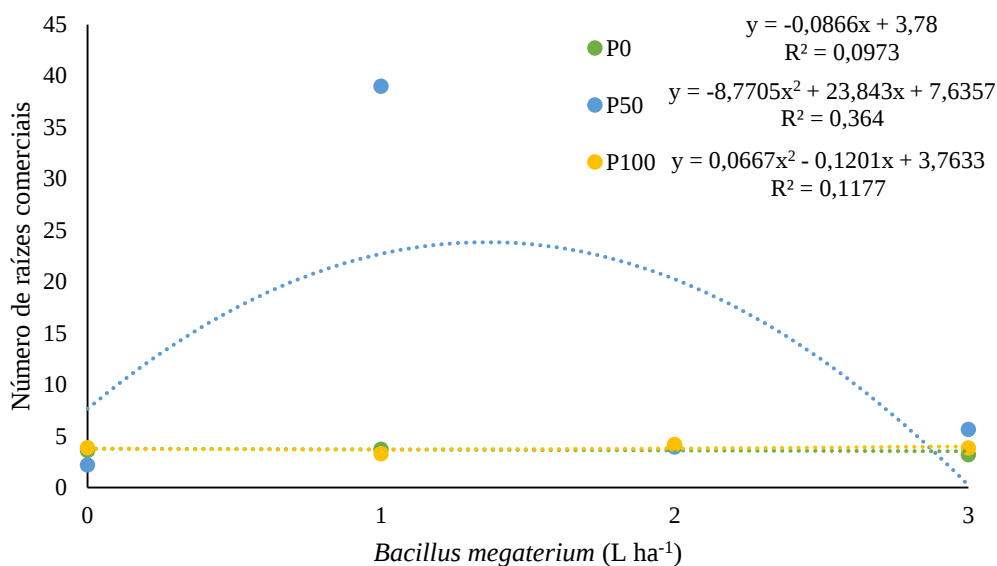


Figura 7. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável número de raízes comerciais por planta (N°RC) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Para a PRC, houve uma resposta significativa para o uso do conjunto de adubação fosfatada na proporção de 100% obtendo ponto ótimo em torno de 2,26 L ha⁻¹ (Figura 8), com uma produção média de 3 kg/planta. A produtividade da mandioca está intrinsicamente relacionada à renda do agricultor. Esse parâmetro é determinado pela genética da planta e pelo ambiente de cultivo. As condições edafoclimáticas são fatores ambientais que não podem ser modificados, enquanto o manejo (por exemplo, adubação) são fatores que podem ser modificados pelo homem (Sholihin *et al.*, 2022).

O tipo e a dosagem de fertilizante necessários para aumentar a produtividade da mandioca dependem da fertilidade do solo e do tipo de variedade utilizada (Sholihin *et al.*, 2022).

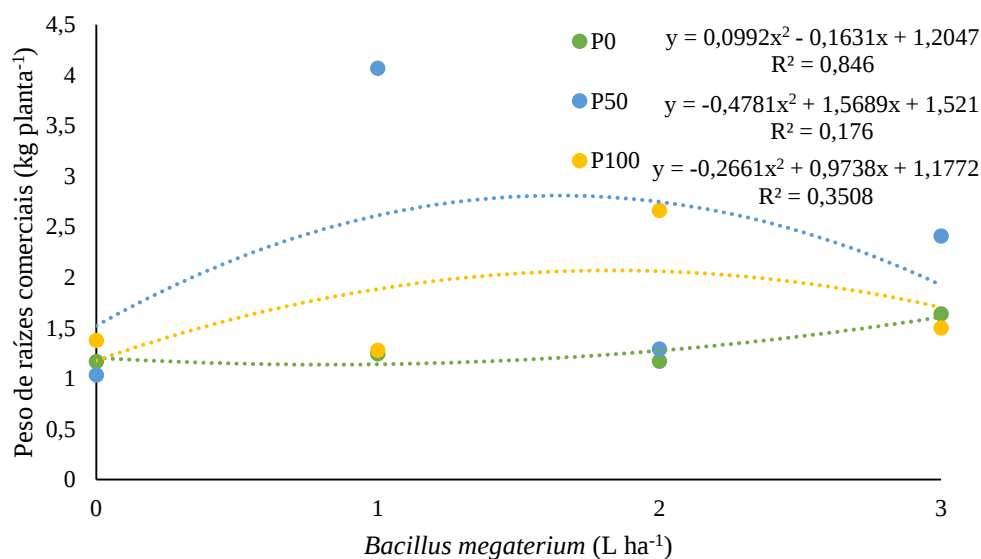


Figura 8. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável peso de raízes comerciais (PRC) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Para a MSR os melhores resultados foram obtidos na interação entre a recomendação de 50% de adubação fosfatada em conjunto com o ponto de 0 L ha⁻¹ do inoculante, para as demais doses apresentou-se um declínio da curva (Figura 9). A combinação de bioinsumos com menores taxas de fertilização mineral proporcionam maior nutrição de plantas, uma vez que enriquecem o solo em macro e microelementos necessários (Plaza *et al.*, 2021). Os produtos biológicos estimulam o crescimento e desenvolvimento das plantas e promove maior desenvolvimento do sistema radicular, o que faz com que a cultura absorva mais nutrientes da solução do solo (Plaza *et al.*, 2021).

Munar *et al.* (2023), relatam que plantas inoculadas com a *B. megaterium*, resultam em uma melhoria significativa na qualidade e estrutura do solo, e consequentemente absorção de nutrientes por meio das plantas, o que ocasionou em um aumento significativo da massa seca das raízes. O fósforo é essencial na formação da estrutura celular das plantas, fortalecendo o caule e consequentemente aumentando o diâmetro e assim favorecendo o seu crescimento em todas as partes da planta (Akca *et al.*, 2023).

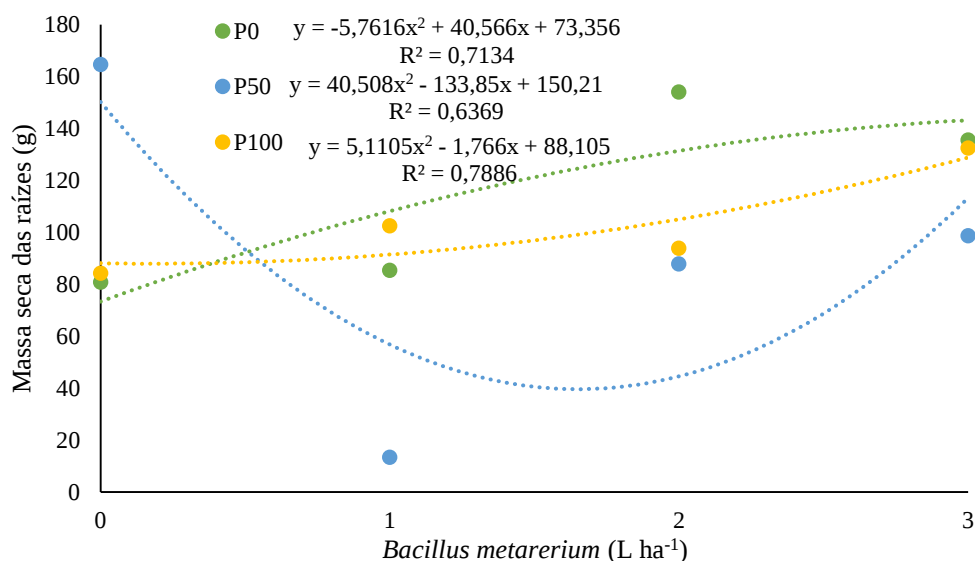


Figura 9. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável teor de matéria seca da raiz (MSR) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Para a MSPA o efeito significativo foi relacionado à interação entre os fatores, no qual a dose de 3 L ha⁻¹ do inoculante, em conjunto com a proporção de 50% da adubação fosfatada obtiveram maiores resultados (Figura 10).

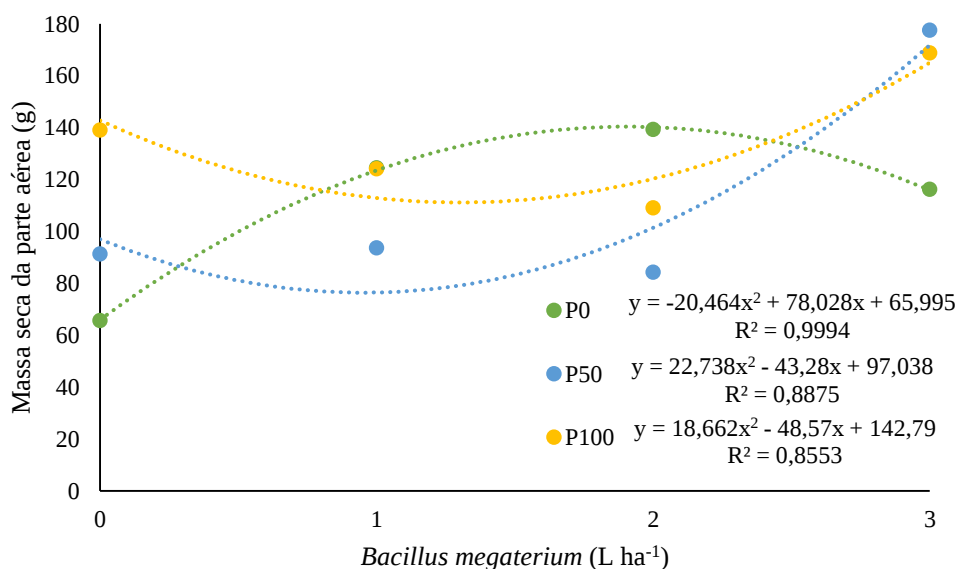


Figura 10. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável massa seca da parte aérea (MSPA) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

É constatado que rizobactérias solubilizadoras de fosfato são eficazes na promoção do crescimento vegetal em diferentes culturas agrícolas comerciais (Fiuza *et al.*, 2022), algo que foi constatado pelo presente estudo, já que a MSPA obteve seus

melhores resultados com a maior dose de inoculante. As bactérias solubilizadoras de fosfato possibilitaram que o sistema radicular das plantas se desenvolvesse ao ponto de explorar regiões e horizontes mais profundos do solo, o que permitiu absorver nutrientes e água que proporcionaram o crescimento das plantas.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, conclui-se que, a dose de inoculante de *Bacillus megaterium* de 2 L ha⁻¹ em conjunto com as proporções de adubação fosfatada em 50 e 100% da recomendação proporcionou um acréscimo nas características biométricas e de produtividade de plantas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. Branquinha sob cultivo de sequeiro.

REFERÊNCIAS

- AKCA, H.; TASKIN, M. B.; GUNES, A.; INAL, A. The effect of phosphorus fertilizer under the influence of iron and zinc treatments on nutrient content and lettuce yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 47, n. 5, p. 750–761, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2280130>
- AQUINO, J. P. A.; COSTA NETO, V. P.; ANDRADE, M. dos R. S.; OLIVEIRA, L. M. S.; ANTUNES, J. E. L.; FREITAS, A. D. S.; ALCÂNTARA NETO, F.; ARAUJO, A. S. F. Plant growth-promoting bacteria increase the yield of green maize and sweet sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 1, p. 58–68, 2002. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2057329>
- BENAVIDES, H. S.; URIBE-VELEZ, D.; RESTREPO-DÍAZ, H. Evaluation of brassinosteroids and plant growth-promoting bacteria on the growth and yield of *Lactuca sativa* L. under soilless cultivation conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 18, p. 4438–4453, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2232390>
- BHATT, K.; MAHESHWARI, D. K. *Bacillus megaterium* Strain CDK25, a Novel Plant Growth Promoting Bacterium Enhances Proximate Chemical and Nutritional Composition of *Capsicum annuum* L. **Front. Plant Sci.** 11:1147, 2020. DOI: [10.3389/fpls.2020.01147](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01147)
- BIZOS, G.; PAPTAEODOROU, E. M.; CHATZISTATHIS, T.; NTALLI, N.; ASCHONITIS, V. G.; MONOKROUSOS, N. The role of microbial inoculants on plant protection, growth stimulation, and crop productivity of the olive tree (*Olea europea* L.). **Plants**, v. 9, n. 6, p. 743, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9060743>

CARDOSO, R. M.; MESSIAS, M.; SILVEIRA, P. M. da; FERREIRA, E. P. de B. Agromonic performance of plant growth-promoting microorganisms and nitrogen sufficiency index in common bean. **Journal of Plant Nutrition**, v. 47, n. 13, p. 2108–2121, 2024. DOI: <https://doi-org.ez17.periodicos.capes.gov.br/10.1080/01904167.2024.2330519>

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C. L. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O; SOUZA, E.; ZORITA, M. D.; BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biol. Fertil. Soils**, v. 56, p. 461–479, 2020. <https://doi-org.ez17.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00374-020-01463-y>

DAHMAN, M. A.; DESRUT, A.; MOUMEN, B.; VERDON, J.; MERMOURI, L.; KACEM, M.; COUTOS-THÉVENOT, P.; KAID-HARCHE, M.; BERGÈS, T.; VRIET, C. Unearthing the plant growth promoting Traits of *Bacillus megaterium* RmBm31, an Endophytic bacterium isolated from root nodules of retama monosperma. **Front. Plant Sci.** 11:124, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.00124

FIUZA, D. A. F.; VITORINO, L. C.; SOUCHIE, E. L.; NETO, M. R.; BESSA, L. A.; SILVA, C. F. D.; TROMBELA, N. T. Effect of Rhizobacteria Inoculation via Soil and Seeds on *Glycine max* L. Plants Grown on Soils with Different Cropping History. **Microorganisms**. v. 10, n. 4, p.691, 2022. DOI <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040691>

GAVIOLI, A.; SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; SCHENATTO, K.; BETZEK, N. M. Identification of management zones in precision agriculture: an evaluation of alternative cluster analysis methods. **Biosystems engineering**, v. 181, p. 86-102, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.019>

GROSMANN, J.; FREITAS, A. G. Determinação do teor de matéria seca pelo método de peso específico em raízes de mandioca. **Revista Agronômica**, p. 75-80, 1950.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=resultados>> Acesso em: 20 dez. 2023.

LIMA, E. **Bactéria encontrada no mandacaru vira bioproduto que promove tolerância à seca em plantas**. Embrapa, 27 abr. 2021. Disponível em: [https://www.embrapa.br/busca-denoticias/-/noticia/60941801/bacteria-encontrada-no-](https://www.embrapa.br/busca-denoticias/-/noticia/60941801/bacteria-encontrada-no)

mandacaru-vira-bioproduto-quepromove-tolerancia-a-seca-em-plantas. Acesso em: 29 out. 2022

LUZ, J. S.; SILVA, R. L. O.; SILVEIRA, E. B.; CAVALVANTE, U. M. T. Atividade enzimática de fungos endofíticos e efeito na promoção do crescimento de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 2, p. 128-134, 2006.

LYNCH, J. P. Root Phenotypes for Enhanced Soil Exploration and Phosphorus Acquisition: Tools for Future Crops. **Plant Physiology**, v.156, p. 1041-1049, 2011.

MESSIAS, M.; ASOBIA, P. C.; FERREIRA, E. P. B. Rhizobia and azospirilla co-inoculation boosts growth and productivity of common bean. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 29, p. 65–73, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.2004>

MUNAR, A. R.; AROCA, R.; ZAMARREÑO, A. M.; GARCÍA-MINA, J. M.; PEREZ-HERNÁNDEZ, N.; RUIZ-LOZANO, J. M. Dual Inoculation with *Rhizophagus irregularis* and *Bacillus megaterium* Improves Maize Tolerance to Combined Drought and High Temperature Stress by Enhancing Root Hydraulics, Photosynthesis and Hormonal Responses. **Internacional Journal Molecular Science**, v. 24, n. 6, p. 5193, 2023.

NOGUEIRA, V. F. B.; CORREIA, M. F.; NOGUEIRA, V. S. Impacto do Plantio de Soja e do Oceano Pacífico Equatorial na Precipitação e Temperatura na Cidade de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 3, p. 708-724, 2012.

OTSUBO, A. A.; BRITO, O. R.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, V. H. N.; GONÇALVES, M. P.; TELLES, T. S. Desempenho de cultivares elites de mandioca industrial em área de cerrado do Mato Grosso do Sul. **Semana: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, p. 1155-1162, 2009.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 4, p. 758-766, 2016.

PEREIRA, A.; RIBEIRO, E.; GAŚIOROWSKA, B. Efeito de bactérias *Bacillus megaterium* var *phosphaticum* e do aminoácido L-alfa prolina sobre o teor de ferro no solo e plantas de *Triticum aestivum* L. em sistema de agricultura sustentável. **Agronomia**, v. 11, n. 511, 2021.

RÓS, A.B; HIRATA, A.C.S; NARITA, N. Produção de raízes de mandioca e propriedades química e física do solo em função de adubação com esterco de galinha. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n.3, p.247-254, 2013.

SAADATFAR, A.; NASIBIA, F.; SHAHABIB, Z. M.; MOUSAVI, E. A. Seed priming with plant growth-promoting rhizobacteria and supplementation of culture medium with biochar alleviated salinity damages in *Prosopis koelziana* seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, v. 47, n. 4, p. 542–555, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2023.2280129>

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

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. **Plant Physiology**, v. 116, n. 2, p. 447-53 2020.

SELBACH, J. F.; LEITE, J. R. S. A. **Environment in Lower Parnaíba**: eyes in the world, feet in the region. São Luís: EDUFMA, 2008. 216p.

SHOLIHIN, INDIATI, S. W.; NOERWIJATI, K.; WAHYUNI, T. S.; KUSWANTORO, H.; BUDIONO, R. Improving the Genetics of Tuber Yield and Resistance to Mite to Avoid Mite Incident and to Increase the Productivity of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Scientifica**, 2022, p. 1-9, 2022.

SILVA, M.S.R.; TAVARES, O.C.H.; OLIVEIRA, I.S.R.; SILVA, C. S. R. A.; SILVA, C. S. R. A.; VIDAL, M. S.; BALDANI, V. L. D.; JESUS, E. D. Stimulatory effects of defective and effective 3-indoleacetic acid-producing bacterial strains on rice in an advanced stage of its vegetative cycle. **Braz. J. Microbiol**, v. 53, p. 281–288, 2022. DOI: <https://doi-org.ez17.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s42770-021-00651-8>

SOUZA, A.E.S.D.; FILLA, V.A.; SILVA, J.P.M.D.; BARBOSA JÚNIOR, M.R.; OLIVEIRA-PAIVA, C.A.D.; COELHO, A.P.; LEMOS, L.B. Application of *Bacillus* spp. phosphate-solubilizing bacteria improves common bean production compared to conventional fertilization. **Plants**, v.12, n.3827, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12223827>

TEIXEIRA, P. R. G.; VIANA, A. E. S.; CARDOSO, A. D.; MOREIRA, G. L. P.; MATSUMOTO, S. N.; RAMOS, P. A. S. Physical-chemical characteristics of sweet cassava cultivars. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 158-165, 2017b.

TIRONI, L. F.; UHLMANN, L. O.; STRECK, N. A.; SAMBORANHA, F. K.; FREITAS, C. P. O.; SILVA, M. R. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. **Bragantia**, v.74, n. 1, p.58-66, 2015.

VIDIGAL FILHO, P. S.; PEQUENO, M. G.; SCAPIM, C. A.; VIDIGAL, M. C. G.; MAIA, R. R.; SAGRILO, E.; SIMON, G. A.; LIMA, R. S. Avaliação de cultivares de mandioca na Região Noroeste do Paraná. **Bragantia**, v. 59, n.1, p. 69-75, 2000.

WANG, S.; NA, X.; YANG, L. A linhagem WW1211 de *Bacillus megaterium* promove o crescimento das plantas e a iniciação da raiz lateral via regulação da biossíntese e redistribuição de auxinas. **Solo Vegetal**. v. 466, p. 491–504, 2021. DOI: <https://doi-org.ez17.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11104-021-05055-z>

ZHAO, Y.; MAO, X.; ZHANG, M.; YANG, W.; DI, H. J.; MA, L.; LIU, W.; LI, B. The application of *Bacillus Megaterium* alters soil microbial community composition, bioavailability of soil phosphorus and potassium, and cucumber growth in the plastic shed system of North China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 307, n. 107236, 2021.



CASA

SOBRE ▾

CONTRIBUIR ▾

NAVEGAR ▾

DIRETRIZES PARA AUTORES

Seções

1. Processo de Submissão e Revisão por Pares
2. Tipos de artigo
3. Após Aceitação

1. Processo de Submissão e Revisão por Pares

Uma vez que os materiais de submissão tenham sido preparados de acordo com as Diretrizes para Autores, os manuscritos devem ser submetidos on-line no <https://wiley.atyponrex.com/journal/JAC>.

Para obter ajuda com as submissões, entre em contato com: jacs.office@wiley.com

Esta revista não cobra taxas de submissão.

Apoio à preparação do artigo

A [Wiley Editing Services](#) oferece ajuda especializada com edição em inglês, bem como tradução, formatação de manuscritos, ilustração de figuras, formatação de figuras e design de resumos gráficos – para que você possa enviar seu manuscrito com confiança.

Além disso, confira nossos recursos para [Preparando seu artigo](#) para obter orientações gerais sobre como escrever e preparar seu manuscrito.

Novas submissões devem ser feitas através do [portal de submissão de Intercâmbio de Pesquisa](#). Para obter ajuda técnica com o sistema de submissão, consulte nossas [perguntas frequentes](#) ou entre em contato [com submissionhelp@wiley.com](mailto:submissionhelp@wiley.com).

Para submissões iniciadas antes de 20 de junho de 2022, visite a [Central de Manuscritos](#) para gerenciar ou concluir sua submissão.

Submissão em formato livre

Journal of Agronomy and Crop Science agora oferece **submissão em formato livre** para um processo de submissão simplificado e simplificado.

Antes de enviar, você precisará de:

- Seu manuscrito: este deve ser um arquivo editável, incluindo texto, figuras e tabelas, ou arquivos separados, o que você preferir. Todas as seções necessárias devem estar contidas em seu manuscrito, incluindo resumo, introdução, métodos, resultados e conclusões. Figuras e tabelas devem ter legendas. Os números devem ser carregados na maior resolução possível. Se os números não forem de qualidade suficientemente alta, seu manuscrito pode ser atrasado. As referências podem ser submetidas em qualquer estilo ou formato, desde que seja consistente ao longo do manuscrito. As informações de apoio devem ser apresentadas em arquivos separados. Se o manuscrito, figuras ou tabelas forem difíceis de ler, também serão difíceis para os editores e revisores, e a redação enviará de volta para revisão. Seu manuscrito também pode ser enviado de volta para revisão se a qualidade da língua inglesa for ruim.
- Um ID ORCID, disponível gratuitamente em <https://orcid.org>. *(Por que isso é importante? Seu artigo, se aceito e publicado, será anexado ao seu perfil ORCID. Instituições e financiadores estão exigindo cada vez mais que os autores tenham IDs ORCID.)*
- A página de rosto do manuscrito, incluindo:
 - Detalhes do seu coautor, incluindo afiliação e endereço de e-mail. *(Por que isso é importante? Precisamos manter todos os coautores informados sobre o resultado do processo de revisão por pares.)*
 - Declarações relacionadas às nossas políticas de ética e integridade, que podem incluir qualquer um dos seguintes *(Por que eles são importantes? Precisamos manter padrões éticos rigorosos para as pesquisas que consideramos para publicação):*
 - Declaração de disponibilidade de dados
 - Declaração de Financiamento
 - Divulgação de Conflito de Interesses
 - Declaração de aprovação ética
 - Termo de consentimento livre e esclarecido
 - permissão para reproduzir material de outras fontes
 - registro de ensaios clínicos

Política de pré-impressão:

Esta revista aceita artigos publicados anteriormente em servidores de pré-impressão. Por favor, encontre a política de pré-impressão Wiley [aqui](#).

O Journal of Agronomy and Crop Science considerará para revisão artigos previamente disponíveis como preprints em servidores não comerciais. Os autores também podem postar a versão submetida de um manuscrito em servidores não comerciais a qualquer momento. Os autores são solicitados a atualizar quaisquer versões de pré-publicação com um link para o artigo final publicado.

Compartilhamento e disponibilidade de dados

Este diário espera o compartilhamento de dados. Consulte [a política de compartilhamento de dados da Wiley](#), onde você poderá ver e selecionar a declaração de disponibilidade de dados certa para o seu envio.

Citação de dados

Consulte [a política de citação de dados da Wiley](#).

Proteção de Dados

Ao submeter um manuscrito ou revisar para esta publicação, seu nome, endereço de e-mail e afiliação, e outros detalhes de contato que a publicação possa exigir, serão usados para as operações regulares da publicação. Consulte [a Política de Proteção de Dados da Wiley](#) para saber mais.

Financiamento

Você deve listar todas as fontes de financiamento na seção Agradecimentos. Você é responsável pela precisão de sua designação de financiador. Em caso de dúvida, verifique o [Open Funder Registry](#) para obter a nomenclatura correta.

Autoria

Todos os autores listados deveriam ter contribuído substancialmente com o manuscrito e ter concordado com a versão final submetida. Revise [os padrões editoriais](#) e role para baixo para obter uma descrição dos critérios de autoria.

ORCID

Este periódico requer ORCID. Consulte os [recursos da Wiley sobre ORCID](#).

Reprodução de Material Protegido por Direitos Autorais

Se forem incluídos trechos de obras protegidas por direitos autorais de propriedade de terceiros, o crédito deverá ser mostrado na contribuição. É sua responsabilidade também obter permissão por escrito para reprodução dos proprietários dos direitos autorais. Para obter mais informações, [visite Wiley's Copyright Terms and Conditions FAQ](#).

O autor correspondente é responsável por obter permissão por escrito para reproduzir o material "impresso e outras mídias" do editor da fonte original, e por fornecer à Wiley essa permissão após a submissão.

Página de Título

A página de título deve conter:

1. Um breve título informativo contendo as principais palavras-chave. O título não deve conter abreviações (consulte as dicas de SEO de melhores práticas da Wiley);
 2. Um título curto de menos de 40 caracteres;
- Os nomes completos dos autores;
1. Afiliações institucionais do autor onde o trabalho foi realizado, com uma nota de rodapé para o endereço atual do autor, se diferente de onde o trabalho foi realizado;
 2. Confirmações.

Arquivo de texto principal

Os manuscritos podem ser carregados como um único documento (contendo o texto principal, tabelas e figuras), ou com figuras e tabelas fornecidas como arquivos separados. **Caso seu manuscrito atinja a fase de revisão, figuras e tabelas devem ser fornecidas como arquivos separados.** O arquivo principal do manuscrito pode ser submetido no formato Microsoft Word (.doc ou .docx).

Seu arquivo de documento principal deve incluir:

CAPÍTULO II

ADUBAÇÃO FOSFATADA E *Bacillus megaterium* NA ANÁLISE NUTRICIONAL FOLIAR E BIOLÓGICA DO SOLO DE MANDIOCA cv. BRANQUINHA

Artigo a ser submetido ao periódico: Journal of Plant Nutrition (A1)

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), é uma planta dicotiledônea, possuindo pouca exigência em fertilidade química do solo, todavia a baixa disponibilidade de nutrientes afeta diretamente o seu desenvolvimento. Uma alternativa para a maximização da produtividade é a utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas que surgem como uma alternativa para mitigar os custos de produção, tendo em vista as propriedades que o *Bacillus megaterium* juntamente com uma adubação adequada pode proporcionar. O presente estudo teve por objetivo avaliar o estado nutricional foliar e biológico do solo sob a cv. Branquinha em cultivo de sequeiro, com a utilização de diferentes doses do microrganismo *B. megaterium* e adubação fosfatada. O experimento teve o período entre fevereiro de 2023 a fevereiro de 2024, foi realizado em uma propriedade rural no município de Chapadinha-MA. O material vegetal utilizado foi a mandioca cv. Branquinha, o plantio foi realizado em covas com dimensões de 10 x 10 x 10 cm, e espaçamento de 1,0 m x 1,0 m. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com arranjo fatorial 4 x 3, (quatro doses de *B. megaterium* [D0: 0; D1: 1,0; D2: 2,0; D3: 3,0 L ha⁻¹] aplicadas no sulco de plantio e três doses de adubação fosfatada [P0: 0% - sem adubação fosfatada; P50: 50% e P100: 100% da recomendação e controle], com cinco repetições e 60 parcelas experimentais. As variáveis analisadas foram: nitrogênio microbiano, carbono microbiano, respiração basal do solo e os teores de macro e micronutrientes da folha. Para a análise estatística foi realizado a hipótese de normalidade, utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov, com nível de significância de 5%. Após confirmação de normalidade, procedeu-se a análise de variância, e teste Tukey com subsequente análise exploratória para efeitos significativos por regressão, e realizada a correlação de Pearson com nível de significância de 5%. Houve efeito significativo para nitrogênio microbiano, carbono microbiano; respiração basal do solo; N; P; K; Ca; B; Fe; Mn e Zn. Conclui-se que a utilização do inoculante *Bacillus megaterium* em conjunto com a adubação fosfatada não influenciaram sob a biologia do solo e o estado nutricional das folhas de mandioca cv. Branquinha sob cultivo de sequeiro.

PALAVRAS-CHAVE: *Manihot esculenta* Crantz, nutrição de plantas, solubilizador de fósforo

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is a dicotyledonous plant, with little requirement for chemical soil fertility, however the low availability of nutrients directly affects its development. An alternative for maximizing productivity is the use of bacteria that promote plant growth, which appears as an alternative to mitigate production costs, given the properties that *Bacillus megaterium* together with adequate fertilization can provide. The present study aimed to evaluate the leaf and biological nutritional status of the soil under cv. Branquinha in rainfed cultivation, using different doses of the microorganism *B. megaterium* and phosphate fertilizer. The experiment lasted from February 2023 to February 2024, it was carried out on a rural property in the municipality of Chapadinha-MA. The plant material used was cassava cv. Branquinha, planting was carried out in holes measuring 10 x 10 x 10 cm, and spaced 1.0 m x 1.0 m. The experimental design adopted was randomized blocks, with a 4 x 3 factorial arrangement, (four doses of *B. megaterium* [D0: 0; D1: 1.0; D2: 2.0; D3: 3.0 L.ha⁻¹] applied in the planting furrow and three doses of phosphate fertilizer [P0: 0% - without phosphate fertilizer; P50: 50% and P100: 100% of the recommendation and control], with five replications and 60 experimental plots. : microbial nitrogen, microbial carbon, basal soil respiration and macro and micronutrient contents of the leaf. For statistical analysis, the hypothesis of normality was performed, using the Kolmogorov-Smirnov test, with a significance level of 5%. of normality, analysis of variance and Tukey test were carried out with subsequent exploratory analysis for significant effects by regression, and Pearson correlation was performed with a significance level of 5%. There was a significant effect for microbial nitrogen, microbial carbon; of the soil; Here; B; Faith; Mn and Zn. It is concluded that the use of the *Bacillus megaterium* inoculant in conjunction with phosphate fertilization did not influence the soil biology and nutritional status of cassava leaves cv. Branquinha under rainfed cultivation.

KEYWORDS: *Manihot esculenta* Crantz, Plant nutrition, Phosphorus solubilizer

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), é classificada na botânica como dicotiledônea e pertence à família Euphorbiaceae, possui raiz do tipo tuberosa, rica em amido, sendo um alimento que contribui para a segurança alimentar em todo o planeta (EMBRAPA, 2022). A mandioca se destaca por ser a terceira mais importante fonte de carboidratos para a alimentação humana no mundo, ficando atrás apenas do milho e do arroz, respectivamente (Udoro; Anyasi; Jideani, 2021).

Além da venda do produto *in natura*, há também a produção de farinha de mandioca, no qual no Brasil agrega uma maior renda aos pequenos produtores, além de fazer parte da alimentação no cotidiano. Para a sua produção podem ser utilizados diferentes variedades de mandioca (Neves, 2020), como por exemplo a cultivar branquinha que possui como principal finalidade a produção de farinha e destinação para indústria de cerveja.

A cultura da mandioca é capaz de produzir em solos ácidos e com fertilidade baixa, desde que sigam a recomendação de correção e adubação do solo (Araújo *et al.*, 2019). Essa cultura é capaz de aumentar o seu potencial de produção quando há a presença da correção da fertilidade do solo (Rós *et al.*, 2020). Outro destaque importante da mandioca é a sua pouca exigência em fertilidade química do solo, tendo em vista que a baixa disponibilidade de nutrientes afeta diretamente o seu desenvolvimento (Borges *et al.*, 2020).

Outra alternativa para a maximização da produtividade agrícola, é a utilização de bactérias promotoras de crescimento de plantas. A inoculação com bactérias promotoras do crescimento das plantas (BPCP) surge como uma alternativa viável para mitigar os custos de produção (Aguirre *et al.*, 2018). Dentro dos mecanismos de estímulo ao crescimento das plantas por meio de inoculação de bactérias, podem ser citados: a facilitação da absorção de nutrientes disponibilizados pelas plantas (Sousa *et al.*, 2016; Granada *et al.*, 2018; Rotaru; Risnoveanu, 2019; Oliveira-Longatti *et al.*, 2020).

A exemplo, o *Bacillus megaterium*, que estabelece ligações com as plantas desde o crescimento radicular, além de desempenhar um papel na conversão do fósforo contido na matéria orgânica do solo (Paiva *et al.*, 2020). Tendo em vista as propriedades que o *B. megaterium* juntamente com uma adubação adequada pode proporcionar, o presente estudo teve por objetivo avaliar o estado nutricional foliar e biológico do solo sob a cv. branquinha em cultivo de sequeiro, com a utilização de diferentes doses do microrganismo *B. megaterium* e adubação fosfatada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A condução do experimento teve um período de 12 meses, com início em fevereiro de 2023 e término em fevereiro de 2024, realizado em uma propriedade rural (3°46'24"S 43°16'42"W) com altitude de 107 m, no município de Chapadinha-MA. O clima da região é classificado como tropical úmido (Selbach; Leite, 2008), com totais pluviométricos anuais que variam de 1.600 a 2.000 mm (Nogueira *et al.*, 2012) e temperatura média anual superior a 27 °C (Passos; Zambrzycki; Pereira, 2016).

Os dados referentes à temperatura, umidade e precipitação no período de condução do experimento estão apresentados na Figura 1 e 2 respectivamente. Os dados climatológicos foram coletados da plataforma INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

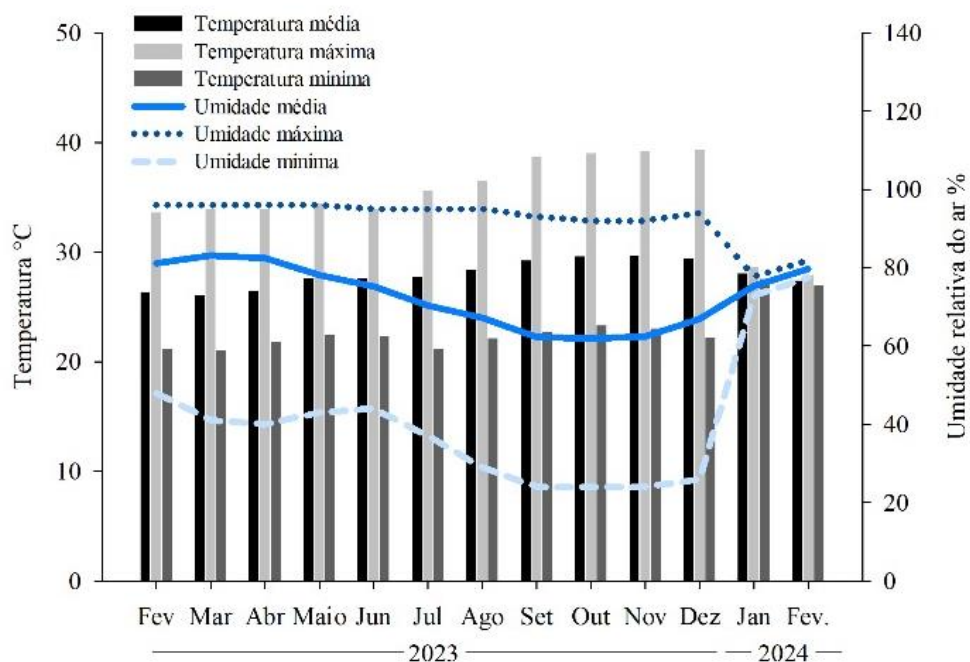


Figura 1. Temperatura (°C) e umidade (%) média, máxima e mínima decorrentes dos meses do experimento, Chapadinha-MA, 2023/2024

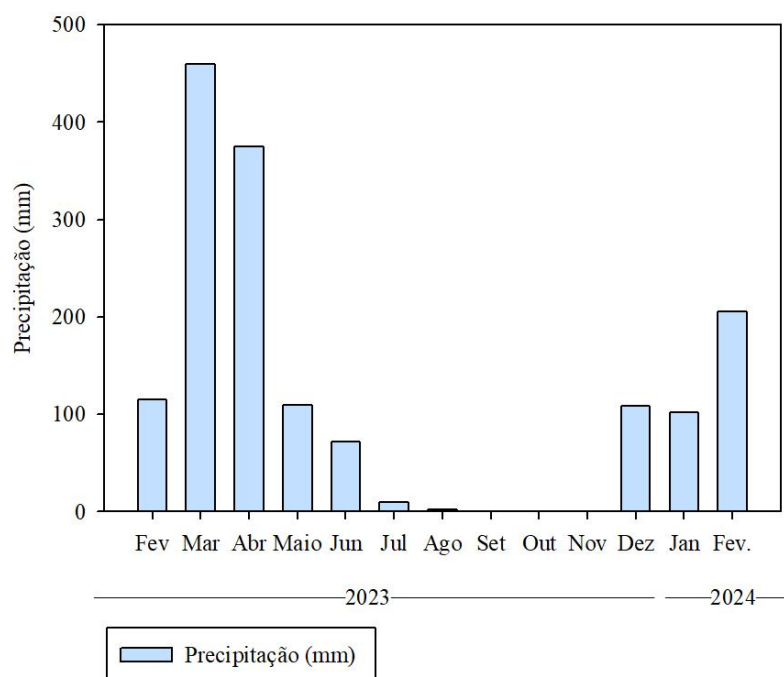


Figura 2. Precipitação (mm) decorrentes dos meses do experimento, Chapadinha-MA, 2023/2024

O material vegetal utilizado foi a mandioca (*M. esculenta* Crantz) cultivar branquinha sob cultivo de sequeiro, e seu plantio foi realizado em covas com dimensões de 10 x 10 x 10 cm (comprimento x largura x profundidade), adotando um espaçamento de 1,0 m x 1,0 m. O controle de plantas espontâneas foi realizado até o fim do experimento entre as linhas de cultivo, com o auxílio de enxada, para manter a cultura livre de competição. Houve incidência da mosca-branca nos primeiros meses de estabelecimento da cultura, logo, para o monitoramento fitossanitário, a medida corretiva foi a utilização do fungo *Beauveria bassiana* e *Cromobactéria* no qual foram aplicados utilizando-se uma bomba costal com capacidade de 20 L, foram realizadas 4 aplicações intercaladas entre os dois microrganismos.

Realizou-se a correção e adubação do solo em função da análise do solo (Tabela 1), e conforme a necessidade da cultura, respeitando os tratamentos experimentais. Para a adubação de cobertura, foram aplicados 17g de super triplo por cova para cada tratamento com 100%, e 8,5g de super triplo por cova para as de 50%. Para adubação de cobertura, as proporções utilizadas foram de 11,4 g de ureia e 20,4 g de cloreto de potássio (KCl) por cova.

Tabela 1. Valores de pH (potencial hidrogeniônico), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Z) do solo

Solo	pH CaCl ₂	P (res) —mg.dm ⁻³ —	S —mg.dm ⁻³ —	K (res) ——mmolc.dm ⁻³ ——	Ca	Mg	Al	B ——mg.dm ⁻³ ——	Cu	Fe	Mn	Z
0-20	3,9	5	3	0,3	10	6	12,70	0,21	2,6	64	4,2	1,4

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com arranjo fatorial 4 x 3, correspondente a doze tratamentos (quatro doses de *Bacillus megaterium* - concentração 1 x 10⁹ UFC.L⁻¹) [D0: 0; D1: 1,0; D2: 2,0; D3: 3,0 L ha⁻¹] aplicadas no sulco de plantio e três doses de adubação fosfatada [P0: 0% - sem adubação fosfatada; P50: 50 % e P100: 100% da recomendação e controle], com cinco repetições, totalizando 60 parcelas. Cada parcela foi composta por 10 plantas, onde a área útil selecionada foi de 5 plantas, totalizando 600 plantas na área experimental onde destas, 300 plantas foram avaliadas.

Para as análises de nutrição das plantas (diagnose foliar) foi realizado a análise da folha diagnóstica (AFD), foram coletadas a folha mais jovem totalmente expandida ou a primeira folha totalmente madura em plantas com dois a cinco meses de idade (Cantarutti *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2009) e procedendo-se análise de macro e micronutrientes conforme Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Para as análises biológicas foi feito as coletas das amostras de solo nas proporções de 0-10 cm, e após isso foram avaliadas ao final do experimento: Respiração basal do solo (mgCO₂g⁻¹dia⁻¹)/dia, determinada de acordo com metodologia de Alef e Nannipieri (1995); Carbono microbiano (g.Kg⁻¹) e Nitrogênio microbiano (g.Kg⁻¹). Para as análises estatística dos dados inicialmente foi realizado a hipótese de normalidade dos resíduos, no qual foi avaliada utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov, adotando um nível de significância de 5%. Após confirmar a normalidade dos dados, procedeu-se à realização de uma análise de variância (ANOVA) e para comparação de média foi realizado o teste de Tukey para análise dos dados. Para efeito significativo dos dados foram realizadas análises de regressão. Para avaliar as relações entre as variáveis, uma análise de correlação linear de Pearson foi realizada, adotando um nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a ANOVA (Tabela 2), para as variáveis biológicas do solo houve efeito significativo para adubação fosfatada em todas as variáveis analisadas: nitrogênio microbiano (g.Kg^{-1}); carbono microbiano (g.Kg^{-1}) e respiração basal do solo ($\text{mgCO}_2\text{g}^{-1}\text{dia}^{-1}$) /dia, assim como para a interação entre os dois fatores adubação fosfatada* dose do inoculante, já para o fator isolado dose de inoculante, não houve efeitos ao nível de 5% de probabilidade. Para as variáveis nutricionais foliares, houve significância para o fator adubação fosfatada em sua forma isolada para os nutrientes potássio, boro, ferro, manganês e zinco. Para o fator dose de inoculante, apenas os nutrientes potássio, cálcio, ferro, manganês e zinco obtiveram resultados significativos, e para a interação entre os dois fatores estudados apenas os macros e micronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio e boro demonstraram significância.

Tabela 2. Valor de F e significância para as variáveis biológicas do solo: nitrogênio microbiano (NMICROB); carbono microbiano (CMICROB) e respiração basal do solo (RESPBAS), e nutricionais da folha: nitrogênio (N); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S); boro (B); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn) e zinco (Zn) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha, 2023/2024

Variável	NMICROB	CMICROB	RESPBAS	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	Valor de F													
Adubação														
Fosfatada (P)	9.671*	9.493*	13.751*	0.129 ^{ns}	1.462 ^{ns}	10.256*	1.243 ^{ns}	0.991 ^{ns}	2.381 ^{ns}	0.326*	1.931 ^{ns}	4.442*	12.227*	4.409*
Dose de inoculante (D)	0.514 ^{ns}	0.298 ^{ns}	0.306 ^{ns}	1.404 ^{ns}	2.484 ^{ns}	3.809*	3.200*	1.638 ^{ns}	0.620 ^{ns}	17.837 ^{ns}	1.521 ^{ns}	4.772*	7.764*	5.327*
P x D	3.606*	2.639*	8.822*	2.385*	3.970*	3.091*	1.171 ^{ns}	0.397 ^{ns}	1.211 ^{ns}	5.072*	1.085 ^{ns}	2.058 ^{ns}	1.375 ^{ns}	1.557 ^{ns}

*: significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo

Na Figura 3, nota-se a interação entre os dois fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável nitrogênio microbiano. Observa-se que os maiores níveis de nitrogênio microbiano se deram na proporção de 50% de adubação fosfatada em conjunto com a dose de 0 L ha⁻¹ do inoculante. Para as demais proporções as interações não foram tão expressivas.

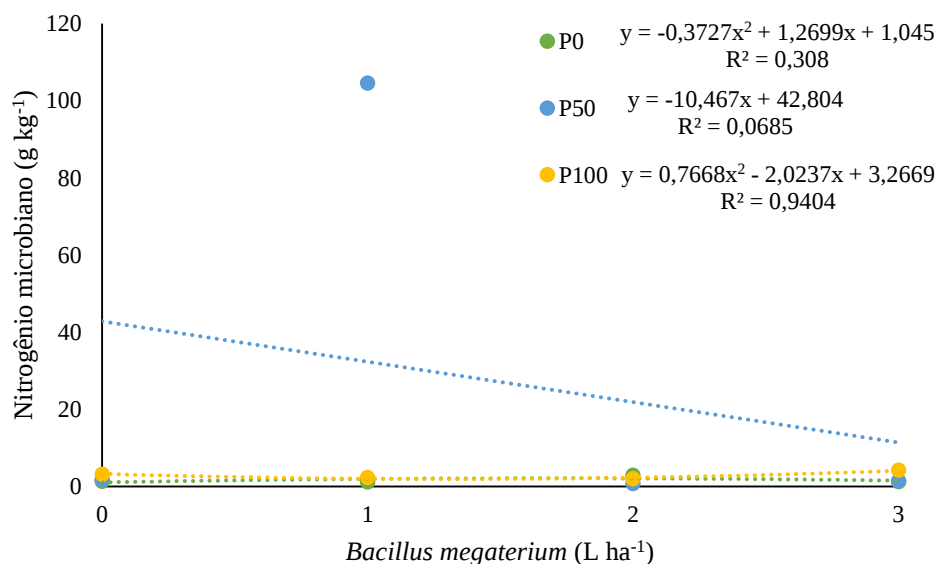


Figura 3. Interação entre os fatores adubação fosfatada* dose de inoculante para a variável N microbiano do solo sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

O N presente na biomassa e o N presente no solo, indica se houve eficiência nos processos de conversão entre N do solo para N microbiano (Sparling, 1992).

Para a variável carbono microbiano (Figura 4), pode-se constatar que a curva equivalente a dose de 3 L ha⁻¹ em conjunto com a adubação fosfatada na proporção de 100% obteve uma menor dispersão para os tratamentos estudados. O mesmo ocorreu para a curva com a recomendação de 50% de adubação fosfatada, no qual a mesma à medida que se aumentava a dose do inoculante a havia um incremento na curva para os teores de carbono microbiano no solo. Isso reflete que houve uma maior incorporação da matéria orgânica, levando em consideração a profundidade trabalhada para essa variável, no qual foi de 0-10 cm. Vale ressaltar que a área do presente estudo era de abertura, com um acúmulo de biomassa vegetal, no qual pode ter influenciado nos teores da qualidade biológica do solo.

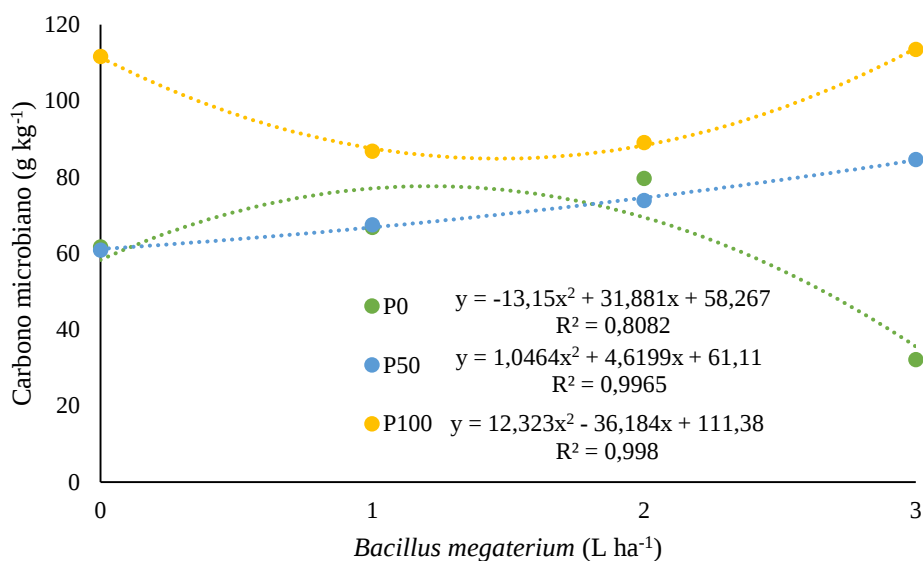


Figura 4. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável C microbiano do solo sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Autores como Silva *et al.* (2021) obtiveram resultados semelhantes, constaram uma maior atividade microbiológica na mesma profundidade, resultado esse obtido pelo fato que essa profundidade apresenta um maior acúmulo de biomassa vegetal. Autores como Matsuoka *et al.* (2003), ao fazerem a comparação de diferentes vegetações nativas no cerrado e sistemas de cultivo, obtiveram resultados diferentes, no qual houve reduções do carbono microbiano.

Para a variável respiração basal do solo (RBS), observa-se que a curva com a proporção de 50% de adubação fosfatada obteve um crescimento gradual à medida que se aumentava a dose, entretanto obteve seu ponto máximo em torno de 2,72 L ha⁻¹ do inoculante, ao ser fornecido uma dose maior a curva apresentou um decréscimo para a atividade biológica em questão. Diferente das outras proporções, de 0 e 100% de adubação fosfatada, no qual a medida que se aumentava a dose do inoculante, havia um declínio da curva, e na dose de 0 L ha⁻¹ do inoculante apresentou uma maior respiração para ambas as curvas com 0 e 100% de adubação fosfatada.

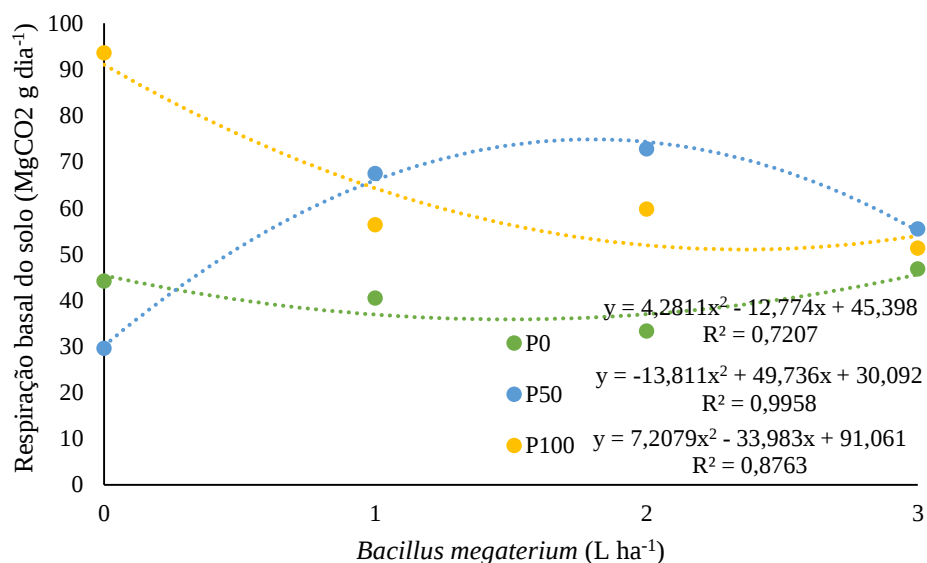


Figura 5. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para a variável respiração basal do solo sob cultivo de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

A respiração basal do solo (RBS) é resultante dos processos metabólicos ocorrentes, e convertem a matéria orgânica presente em CO₂ (Silva *et al.*, 2013). É utilizada para avaliar a atividade microbiana, como ciclagem de nutrientes, manejo e quantidade de C no solo (Moreira; Siqueira, 2006). A população microbiana do solo influencia diretamente na manutenção da qualidade do solo. Os microrganismos existentes constituem-se como parte essenciais da rizosfera, e atuando na ciclagem de nutrientes e crescimento das plantas (Van *et al.*, 2018; Gu *et al.*, 2019). Dentre as práticas agrícolas utilizadas, o uso de fertilizantes pode influenciar na disponibilidade dos nutrientes do solo para as plantas, modificando a biodiversidade das mais diversas comunidades microbianas ali presentes (Ji *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2020).

O uso de inoculantes proporciona a melhoria da qualidade microbiana do solo e preserva o meio ambiente por meio do aumento das comunidades bacterianas e fúngicas do solo. Desse modo, o estudo busca fornecer uma alternativa para reduzir as taxas de aplicação de fertilizantes químicos e com isso influenciar no estabelecimento de uma comunidade microbiana estável para o desenvolvimento dos sistemas produtivos.

Para as variáveis nutricionais foliares, o macro nutriente nitrogênio a proporção de 0% de adubação se comportou de forma estável, com pouquíssimas variações de acordo que aumentava-se a dose, para a proporção de 50% de adubação fosfatada, houve um decréscimo na curva para as doses de 0,1 e 2 L ha⁻¹ do inoculante, entretanto, ao

submeter na dose máxima, houve uma acentuação de acréscimo da curva. Para a proporção de 100% de adubação fosfatada, até a dose de 2 L ha⁻¹ do inoculante a curva de comportou de forma ascendente, porém, para a dose máxima que foi de 3 L ha⁻¹ do inoculante houve um declínio significativo da curva (Figura 6).

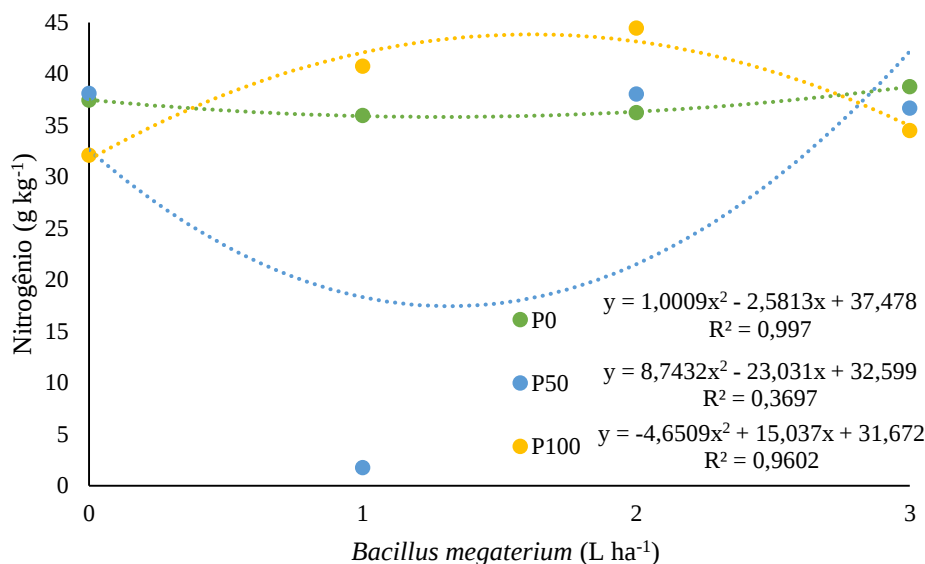


Figura 6. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para o nutriente nitrogênio (N) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

A mandioca possui pouca exigência em N. Autores como Souza *et al.* (2009) relatam que essa pouca exigência pode ser explicada pelo fato da presença de bactérias diazotróficas, que fixam N atmosférico, na região da rizosfera da planta e todas as suas raízes, e no caule. Por sua vez o *Bacillus megaterium* por possuir a função de solubilização de fósforo no solo, quando ele se apresenta mais disponível para as plantas ocasiona o desenvolvimento de sistemas radiculares mais robustos, e consequentemente uma maior absorção de outros nutrientes, como o caso do nitrogênio (Saeid *et al.*, 2018). O nitrogênio influencia no desenvolvimento vegetativo, no comprimento, nos teores de clorofila e no número de folhas das plantas (Taiz; Zeiger, 2014).

Para o nutriente fósforo (Figura 7), a proporção de 50% do adubo em conjunto com a dose em torno de 1,14 foi o que obteve o seu ponto ótimo, doses maiores ocasionaram um declínio na absorção do nutriente. Para as demais combinações entre os tratamentos a absorção foi estável.

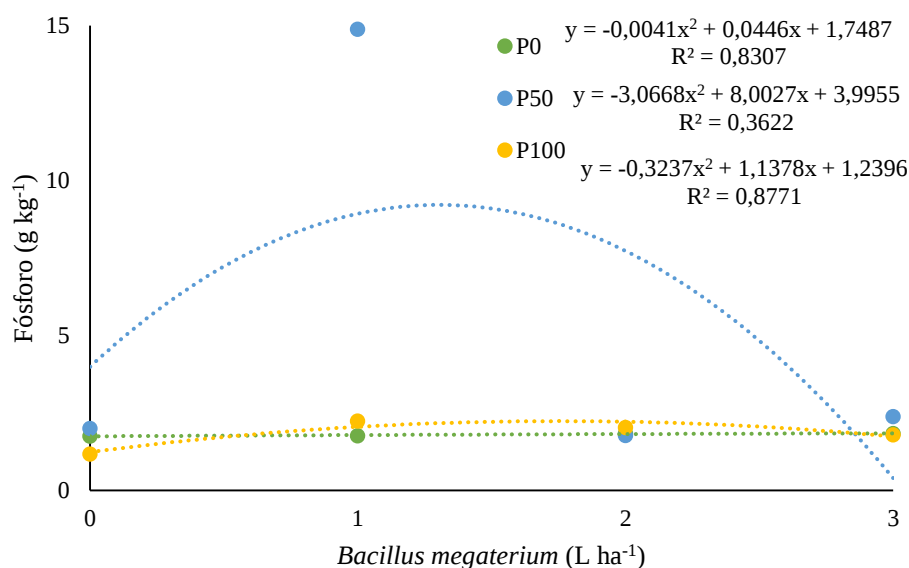


Figura 7. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para o nutriente fósforo (P) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

O *B. megaterium* é um microrganismo que possui a função de solubilizar o fósforo presente no solo, ou seja, transforma as formas insolúveis desse nutriente em formas que a cultura consiga absorver. Com isso, as plantas submetidas a essa dose do microrganismo promoveram a maior absorção ao longo prazo, e a soma do adubo fosfatado no solo como uma disponibilidade imediata obtiveram uma maior eficiência desse nutriente, e desempenho das plantas, pois tiveram acesso contínuo do nutriente.

Autores como Saeid *et al.*, (2018) obtiveram em suas pesquisas, resultados que mostram que *B. megaterium* proporcionou um aumento significativo na quantidade de fósforo solúvel no solo, e melhorou absorção do nutriente pelas plantas em diferentes culturas. O fósforo influencia no aumento significativo da produção de raízes e acúmulo de amido na cultura da mandioca (Souza *et al.*, 2018). O fósforo é um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas, entretanto na maioria dos solos brasileiros a sua disponibilidade natural é baixa, com isso, a adubação fosfatada torna-se uma alternativa de reposição desse nutriente, em contramão, esses adubos possuem valor consideravelmente altos, e consequentemente os custos de produção (Gatiboni *et al.*, 2015).

Para o potássio (K) as curvas com as proporções de adubação fosfatada em conjunto com as diferentes doses do inoculante, apresentaram-se com uma alta dispersão, no qual a curva com equivalente com a recomendação de 50% de adubação demonstrou-se mais significativa para a dose de 3 L ha⁻¹ do inoculante, enquanto as demais ao serem

submetidas a essa dose apresentaram decréscimo entre os fatores trabalhados (Figura 8). Com isso, a plantas submetidas a esse tratamento atribuíram uma maior quantidade desse nutriente. Esse nutriente se destaca por ser um dos nutrientes mais requeridos para o crescimento de plantas de mandioca, o mesmo ocasiona a aceleração do crescimento da parte aérea (Gierth; Maser, 2007).

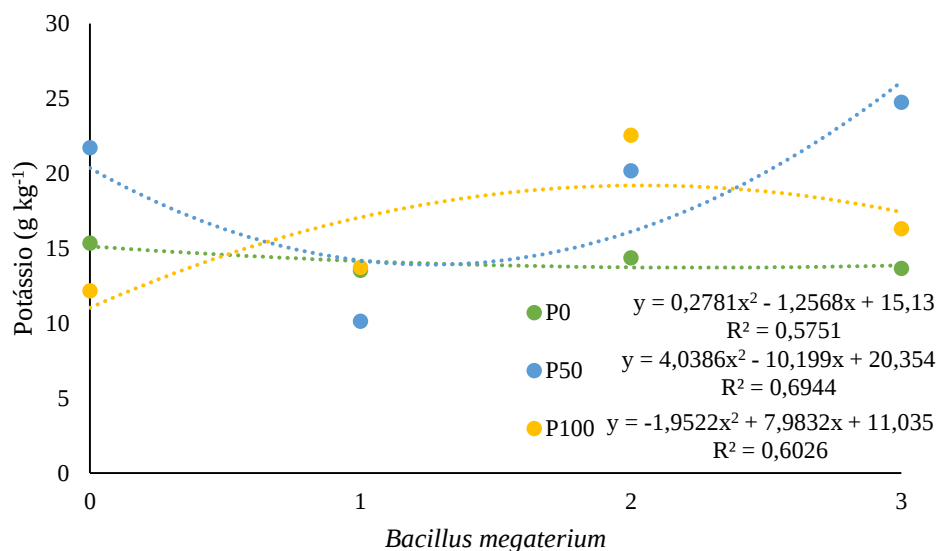


Figura 8. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para o nutriente potássio (K) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Para o cálcio (Ca) houve efeito significativo apenas para o fator dose de inoculante (Figura 9). Tal resultado demonstra que as plantas submetidas a dose de 0 L ha⁻¹ de *B. megaterium*, apresentavam maiores teores de cálcio, uma vez que ao aumentar as doses houve um declínio na curva de regressão, deste modo a utilização do inoculante não se demonstrou responsiva para a cultura. Do ponto de vista econômico, o uso desse inoculante para esse nutriente torna-se menos viável. Tal resultado não corroboram com os resultados obtidos na pesquisa de Fang *et al.* (2023) que obtiveram maiores teores de cálcio nos tecidos das plantas inoculadas com *B. megaterium* do que as que não foram submetidas.

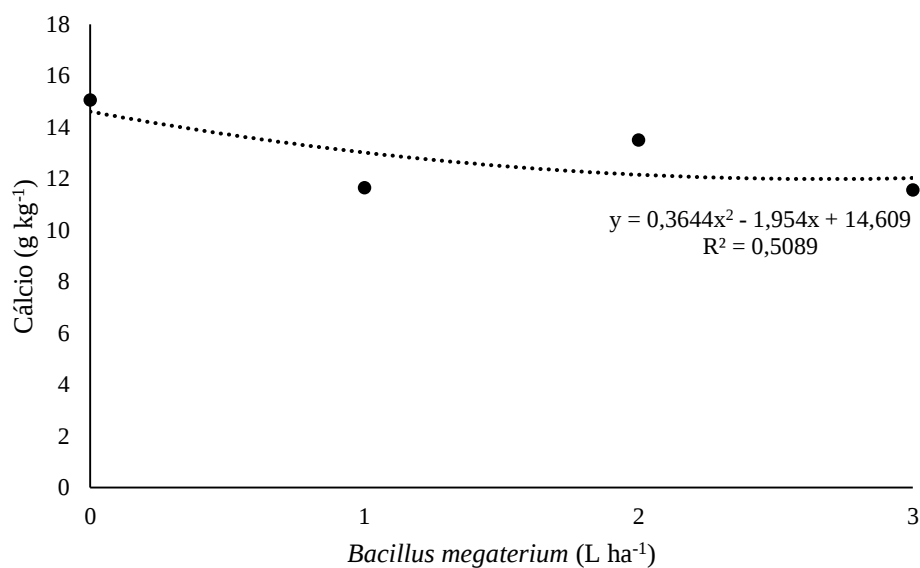


Figura 9. Fator dose de inoculante para o nutriente cálcio (Ca) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Para o micronutriente boro (Figura 10), quando disponibilizados as doses de 1 e 2 L ha⁻¹ do inoculante houve um decréscimo da disponibilidade do nutriente quando eram fornecidas em conjunto com as proporções de 50 e 100% de adubação fosfatada, enquanto para a recomendação de 0% da adubação fosfatada o ponto ótimo da dose do inoculante se deu em torno de 1,43 L ha⁻¹, a partir do aumento desse ponto houve o declínio da curva, impactando da absorção de disponibilidade desse nutriente.

De forma geral para esse tratamento houve uma média de 43,69 mg/kg de boro, em o classifica como uma faixa adequada para a cultura, uma vez que os teores normais de boro em análises foliares de mandioca fica em torno de 30 a 60 mg/kg. O boro se classifica como o micronutriente essencial para o desenvolvimento das plantas. Esse micronutriente está entre os que se apresentam em menores quantidade nos solos brasileiros (Malavolta *et al.*, 1997). Contudo, por mais que o nutriente boro não se apresente em grandes quantidades no território brasileiro, a absorção desde pela planta foi adequada, possivelmente esse resultado pode ser explicado, pelos teores de matéria orgânica presente na área do cultivo.

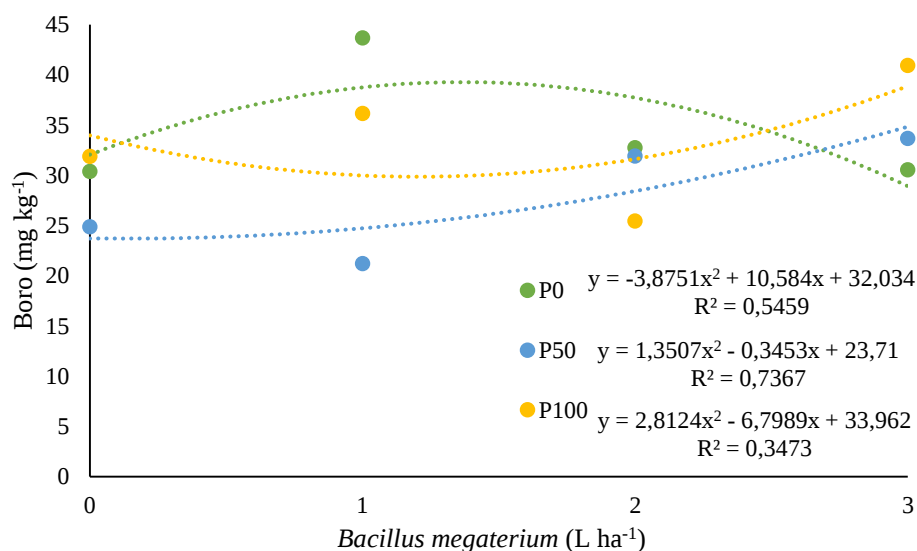


Figura 10. Interação entre os fatores adubação fosfatada*dose de inoculante para o nutriente boro (B) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Para o ferro (Fe) a significância dos fatores deu-se de forma isolada, tanto para doses de inoculante (Figura 11A), como também para a proporção de adubação fosfatada (Figura 11B). Constata-se que para o inoculante a dose de 1 L ha⁻¹ obteve seu ponto ótimo de absorção em torno de 1,24 L ha⁻¹, à medida que se aumentava a dose do inoculante havia um declínio da absorção desse micronutriente. Para o fator adubação fosfatada as plantas que foram submetidas à proporção de 50% da recomendação obtiveram uma maior significância, com 194 mg/kg do nutriente, se sobressaindo das demais. Porém a média desse elemento foi de 50,87 mg/kg, o que de acordo com Cantarutti *et al.* (2007) se classifica como deficiente nessa proporção. Ele atua como um catalisador na produção de clorofila (Hu *et al.*, 2017).

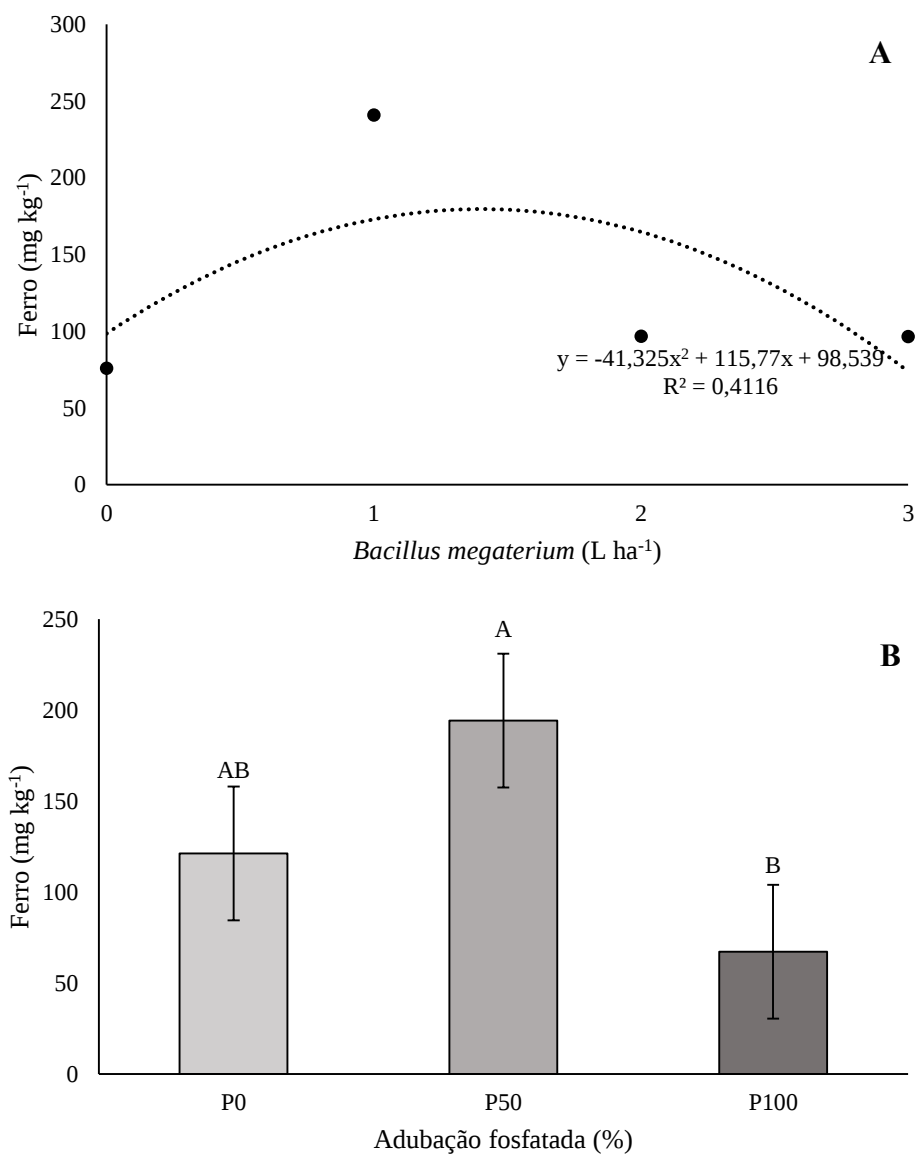


Figura 11. Fatores isolados dose de inoculante (A) e adubação fosfatada (B) para o nutriente ferro (Fe) da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Por mais que o ferro seja encontrado facilmente na natureza, nem sempre os seus teores estão disponíveis para as plantas, limitando a produtividade da biologia do solo (Briat *et al.*, 2015). As plantas por sua vez traçam estratégias para aumentar a disponibilidade do fósforo, por meio de liberação de prótons e ácidos orgânicos, diminuindo o pH do solo, além da liberação de sideróforos (Johnstone; Nolan, 2015). Contudo, a *B. megaterium* também são estimuladores de produção de sideróforos, que por sua vez aumentam a disponibilidade de ferro pelas plantas, o que pode ter ocasionado nas plantas submetidas com a dose de 1 L ha⁻¹. Por sua vez, a adubação fosfatada quando adicionada em proporção ideais, promove uma melhor absorção dos nutrientes, no

presente estudo as plantas submetidas a proporção de 50% obtiveram uma maior absorção desse micronutriente.

O manganês (Mn) obteve efeitos significativos de forma isolada para os dois fatores (Figura 12). Os dois fatores, foram significativos na dose de 0 L ha⁻¹ do inoculante e 0% de adubação fosfatada. Para o fator adubação fosfata foi obtido uma média de 112 (mg/kg) no nutriente. Refletindo dessa forma que nas outras proporções dos tratamentos não foram adequadas para o processo de absorção desse micronutriente pelas plantas.

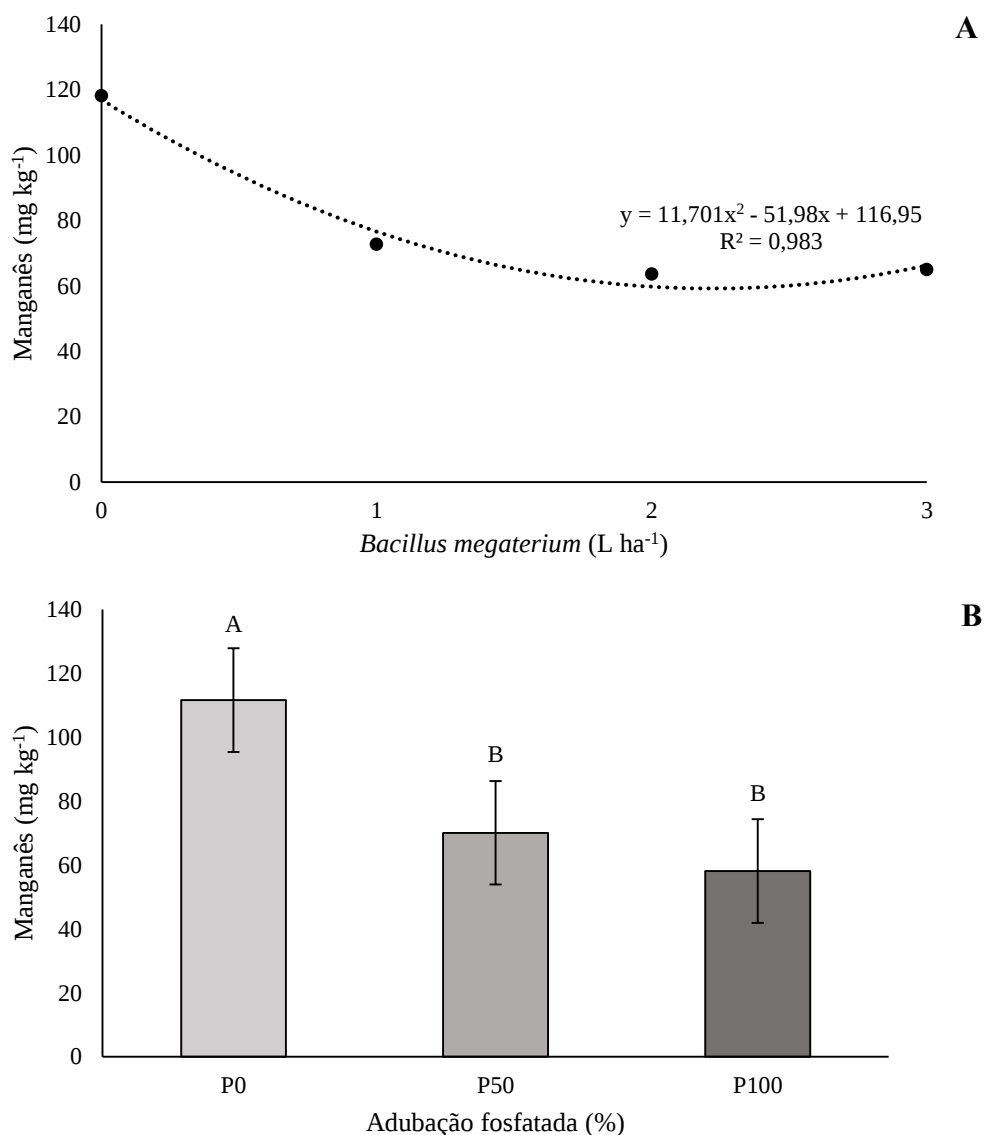


Figura 12. Fatores isolados dose de inoculante (A) e adubação fosfatada (B) para o nutriente manganês da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Semelhante ao manganês, o zinco (Zn) por sua vez também obteve significância de forma isolada para as mesma concentração e proporção dos tratamentos. No qual para o fator dose de inoculante, à medida que se aumentava a dose a absorção do nutriente

diminuía. Para o fator adubação fosfatada, a proporção de 0% demonstrou-se mais significativa entre as demais.

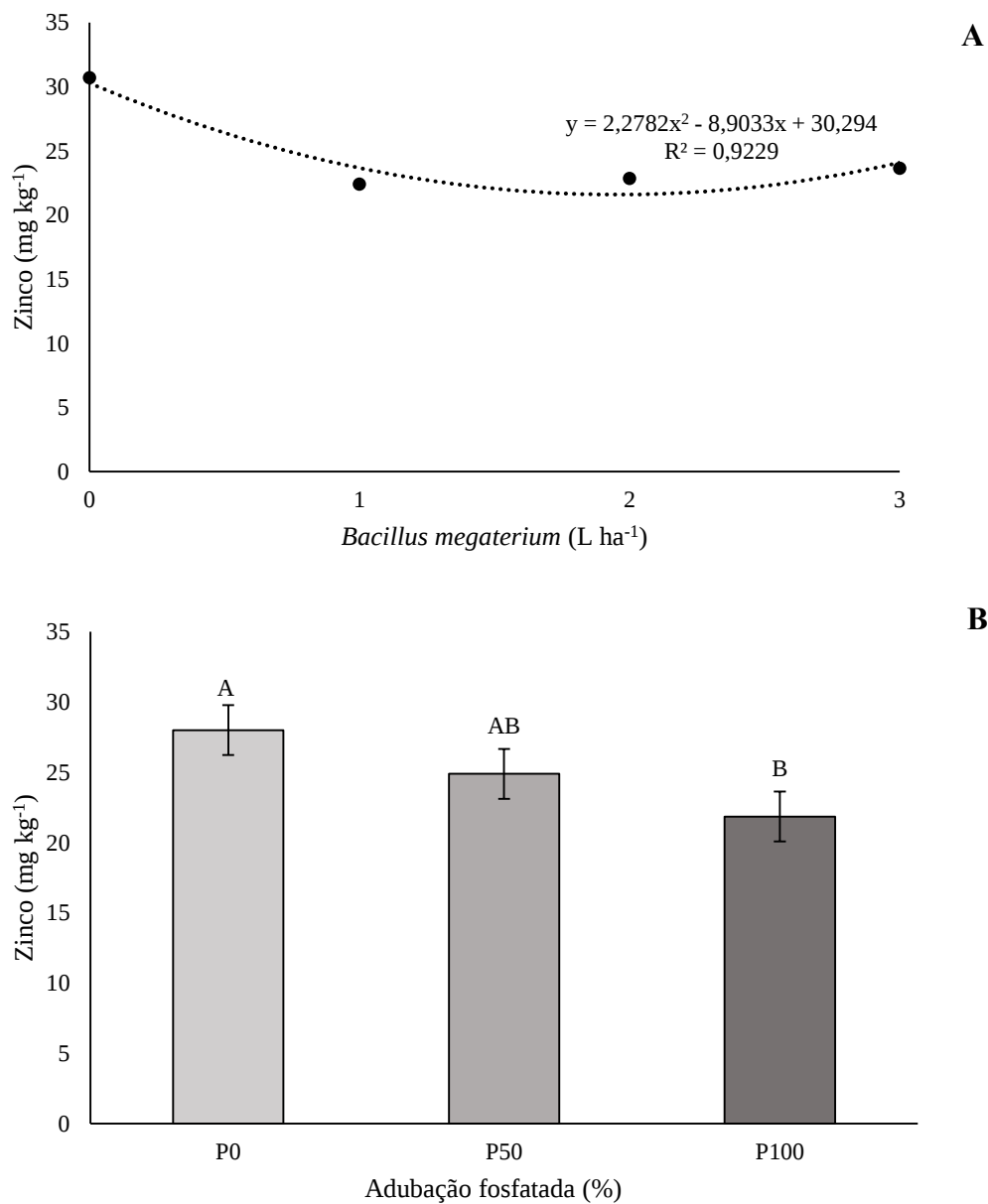


Figura 13. Fatores isolados dose de inoculante (A) e adubação fosfatada (B) para o nutriente zinco da folha de mandioca cv. Branquinha em sequeiro, 2023/2024

Para a correlação de Pearson (Tabela 5), das variáveis biológicas e nutricionais foliares, os valores obtidos na correlação indicam associação forte, positiva e significativa para os nutrientes Ca x Mn (0.616), Ca x Zn (0.652), Mn x Zn (0.613) e NMICROB x CMICROB (0.649).

Tabela 3. Correlação de Pearson para os nutrientes foliares e variáveis do solo: nitrogênio (N); fósforo (P); potássio (K); cálcio (Ca); magnésio (Mg); enxofre (S); boro (B); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn); zinco (Zn); nitrogênio microbiano (NMICROB); carbono microbiano (CMICROB) e respiração basal do solo (RESPBAS) sob cultivo de mandioca cv. Branquinha, Chapadinha-MA, 2023/2024

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	NMICROB	CMICROB
P	0.238	—									Muito forte		
K	0.234	0.566*	—								Forte		
Ca	0.092	0.012	0.318*	—							Moderada		
Mg	0.123	0.288*	0.351*	0.547*	—						Fraca		
S	-0.02	0.497*	0.321*	0.195	0.167	—					Sem correlação		
B	-0.422*	-0.016	-0.219	-0.264*	-0.165	-0.029	—						
Cu	-0.146	-0.118	0.122	0.203	0.189	0.009	0.062	—					
Fe	0.027	-0.052	-0.156	-0.071	-0.040	0.020	0.185	-0.022	—				
Mn	0.041	0.037	0.118	0.616*	0.085	0.356*	-0.186	0.129	-0.119	—			
Zn	0.026	0.185	0.280*	0.652*	0.208	0.377*	-0.301*	0.248	0.029	0.613*	—		
NMICROB	-0.181	-0.165	-0.234	-0.148	-0.058	-0.214	0.105	0.110	-0.103	-0.211	-0.227	—	
CMICROB	-0.076	-0.009	-0.020	-0.145	0.136	-0.195	0.258*	0.100	0.028	-0.314*	-0.310*	0.649*	—
RESPBAS	-0.131	-0.258*	-0.100	-0.282*	0.013	-0.265*	0.081	0.246	-0.076	-0.391*	-0.329*	0.377*	0.579*

* $p < .05$. Classificado de acordo com Gavioli *et al.* (2019), onde $0 < r \leq 0,2$: sem correlação; $0,2 < r \leq 0,4$: correlação fraca; $0,4 < r \leq 0,6$: correlação moderada; $0,6 < r \leq 0,8$: correlação forte; e $0,8 < r \leq 1$: correlação muito forte

Vasconcelos *et al.* (2017), ao avaliar os teores de Cu, Fe, Mn e Zn por FAAS em raízes de mandioca encontraram correlação entre os micronutrientes Mn x Zn apresentando correlação negativa, divergindo dos resultados obtidos no presente trabalho. A deficiência de Mn possibilita baixos rendimentos e clorose intervenosa das folhas superiores e médias (Howeler, 2002). A disponibilidade de manganês para as plantas é influenciada pelo tipo de solo, teor de matéria orgânica, umidade, aeração do solo e pH (Reuter *et al.*, 1988; Husson, 2013).

A relação NMICROB x CMICROB pode ser usada como um índice para expressar a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar C e N, refletindo a qualidade nutricional da matéria orgânica (Tabela 5).

Houve correlação moderada, positiva e significativa entre P x K (0.566), P x S (0.497), Ca x Mg (0.547) e CMICROB x RESPBAS (0.579), todavia, para N x B (-0.422) houve uma correlação negativa (Tabela 5).

Souza *et al.* (2018), ao estudarem adubação fosfatada e potássica: efeito na altura da planta e no diâmetro do caule de mandioca constataram que houve influência da interação P x K na altura e no diâmetro de plantas de mandioca aos 90 dias de cultivo e na concentração de K foliar avaliadas aos 270 dias.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que a utilização de *Bacillus megaterium* em conjunto com a adubação fosfatada influenciou sob a biologia do solo, não influenciando no estado nutricional das folhas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. Branquinha sob cultivo de sequeiro.

REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, P. F.; OLIVO, C. J.; RODRIGUES, P. F.; FALK, D. R.; ADAMS, C. B.; SCHIAFINO, H. P. Forage yield of coastcross-1 pastures inoculated with *Azospirillum brasilense*. **Acta Scientiarum Animal Science**, v. 40, n. 1, p. 159-165, 2018
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London, UK: Academic Press, 1995.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO² (qCO²) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.25, n.3, p.393-395, 1993.b

ARAÚJO, F. S.; BARROSO, J. R.; FREITAS, L. O.; TEODORO, M. S.; SOUSA, Z. M.; TORRES, J. L. R. Atributos químicos e atividade microbiana de solo cultivado com mandioca sob diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 8, p.614-619, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi>

BASSO, M. F.; FARJADO, T. V. M.; SANTOS, H. P.; GUERRA, C. C.; AYUB, R. A.; NICKEL, O. Fisiologia foliar e qualidade enológica da uva em videiras infectadas por vírus. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, n. 6, p. 321-329, 2010.

BORGES, J. M.; ZANON, A.J.; SILVA, M. R.; BALEST, D. S.; ALVES, A. F.; FREITAS, C. P. O.; AMBOS, V.; SANTOS, A. T. L. Potencial de produtividade da mandioca em função da época de plantio em ambiente subtropical. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.19, p.263-269, 2020. <https://doi.org/10.5965/223811711932020263>

BRIAT, J. F.; DUBOS, C.; GAYMARD, F. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. **Trends in Plant Science**, v. 20, n. 1, p. 33-40, 2015.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. D.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. de; PRIETO, H. E.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**, Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 769-850, 2007.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Soil phosphorus fractions in some representative soils. **Journal of Soil Science**, v.9, p.109-119, 1958.

EMBRAPA. **Mandioca**. (2022). Disponível em:<<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mandioca>>. Acesso em: 30 mar 2024.

FANG, X.; YANRONG, Y.; ZHIGUO, Z.; YANG, Z.; YUAN, L.; ZHIYONG, G.; SUMEI, C.; WEIMIN, F.; FADI, C.; SHUANG, Z. Optimum nitrogen, phosphorous, and potassium fertilizer application increased chrysanthemum growth and quality by reinforcing the soil microbial community and nutrient cycling function. **Plants**. v. 12, n. 23, p. 4062, 2023.

FAO - Food and agriculture data. Dados da produção mundial da mandioca, 2019. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 04 abr. 2024.

GATIBONI, L. C.; SMYTH, T. J.; SCHMITT, D. E.; CASSOL, P. C.; OLIVEIRA, C. M. B. Limite crítico ambiental de fósforo para solos Sul-brasileiro com adição de altas doses de nutrientes. In: Tópicos em ciência do solo, vol. IX, Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 144 – 168, 2015.

GAVIOLI, A.; SOUZA, E.G.; BAZZI, C.L.; SCHENATTO, K.; BETZEK, N. M. Identification of management zones in precision agriculture: an evaluation of alternative cluster analysis methods. **Biosystems engineering**, v. 181, p. 86-102, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.019>

GIERTH, M.; MASER, P. Potassium transporters in plants - Involvement in K⁺ acquisition, redistribution and homeostasis. **FEBS Letters**, v. 581, p. 2348-2356, 2007.

GRANADA, C. E.; PASSAGLIA, L. M. P.; SOUZA, E. M.; SPEROTTO, R. R. Is phosphate solubilization the forgotten child of plant growth-promoting rhizobacteria? **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v. 9, p. 2054, 2018.

GU, S. S.; HU, Q. L.; CHENG, Y. Q.; BAI, L. Y.; LIU, Z. H.; XIAO, W. J.; GONG, Z. H.; WU, Y. N.; FENG, K.; DENG, Y.; TAN, L. Application of organic fertilizer improves microbial community diversity and alters microbial network structure in tea (*Camellia sinensis*) plantation soils. **Soil Tillage Res.** v. 195, p. 104356. 2019.

HOWELER, R. H. Cassava mineral nutrition and fertilization. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. (ed.). **Cassava: biology, production and utilization**. Wallingford: Cabi Publishing, 2002. p. 115-147.

HUSSON, O. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. **Plant and Soil**, v. 362, n. 1-2, p. 389-417, 2013.

Jl, Y.; CONRAD, R.; XU, H. Responses of archaeal, bacterial, and functional microbial communities to growth season and nitrogen fertilization in rice fields. **Biol. Fertil. Soils**, v. 56, p. 81–95, 2020.

JOHNSTONE, T. C.; NOLAN, E. M. Beyond iron: non-classical biological functions of bacterial siderophores. **Dalton Transactions**, v. 44, n. 14, p. 6320-6339, 2015.

MALAVOLTA E; VITTI G.C; OLIVEIRA S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: **POTAFOS**. 1997. p 233-241.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. DE. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. p.115-230.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 425-433, 2003.

MOREIRA, F. M.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: editora UFLA, 626p, 2002.

NEVES, E. C. A. **Produtos derivados da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): conhecendo para aumentar sua valorização**. 2020. 218 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. Campinas- SP, 2020.

NOGUEIRA, V. F. B.; CORREIA, M. F.; NOGUEIRA, V. S. Impacto do Plantio de Soja e do Oceano Pacífico Equatorial na Precipitação e Temperatura na Cidade de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 3, p. 708-724, 2012.

OLIVEIRA-LONGATTI, S. M.; MARRA, L. M.; CARVALHO, T. S.; MOREIRA, F. M. S. The culture medium volume and the inoculation method should be considered in semi-quantitative screening of calcium phosphate solubilization by bacteria. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 42, p. e44332, 2020.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico e classificação climática para uma determinada região de Chapadinha-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n .4, p. 758-766, 2016.

REUTER, D.; ALSTON, A.; MCFARLANE, J. Occurrence and correction of manganese deficiency in plants. In: GRAHAN, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (ed.). **Manganese in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 205-224.

RÓS, A. B.; NARITA, N.; HIRATA, A. C. S.; CRESTE, J. E. Efeitos do calcário e da adubação orgânica na produtividade da mandioca e nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Ceres**, v. 67, p. 23-29, 2020.

ROTARU, V. I.; RISNOVEANU, L. Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and phosphates sources on growth and phosphorus nutrition of soybean under moderate drought. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, Cluj-Napoca**, v. 47, n. 3, p. 872-880, 2019.

SAEID, A.; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANEK, J. Phosphorus Solubilization by *Bacillus* Species. **Molecules**, v. 23, n. 2897, p. 1-18, 2018.

SELBACH, J. F.; LEITE, J. R. S. A. **Environment in Lower Parnaíba: eyes in the world, feet in the region.** São Luís: EDUFMA, 2008. 216p.

SILVA, J.M; DE ALBUQUERQUE, L. S.; DOS SANTOS, T. M. C.; DE OLIVEIRA, J. U. L.; GUEDES, E. L. F. Mineralização de vermicompostos estimada pela respiração microbiana. **Revista Verde**, Pombal, v. 8, n. 4, p. 132-135, 2013.

SOUSA, C. A.; LIRA JUNIOR, M. A.; FRACETTO, G. G.; FREIRE, F. J.; SOBRAL, J. K. Evaluation methods used for phosphate-solubilizing bacteria. **African Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 34, p. 1796-1805, 2016.

SOUZA, L. P. N.; PEREIRA, B. F. F.; OLIVEIRA, I. J.; TUCCI, C. A. F.; NASCIMENTO, J. P. Adubação Fosfatada e Potássica: Efeito na altura da planta e no diâmetro do caule de mandioca. **Revista Terceira Margem Amazônia**. v. 3, n. 11, p. 1-11, 2018.

SOUZA, L. S. **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, laranja, tangerina, lima ácida, mamão, mandioca, manga e maracujá.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. p. 126-144.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 195-207, 1992.

UDORO, E. O.; ANYASI, T. A.; JIDEANI, A. I. O. Process-induced modifications on quality attributes of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour. **Processes**, v. 9, n. 11, p. 1891, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr9111891>.

VAN DER BOM, F.; NUNES, I.; RAYMOND, N.S.; HANSEN, V.; BONNICHSEN, L.; MAGID, J.; NYBROE, O.; JENSEN, L.S. Long-term fertilisation form, level and duration affect the diversity, structure and functioning of soil microbial communities in the field. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 122, p. 91–103. 2018.

VASCONCELOS, A. A.; DANTAS FILHO, H. A.; DANTAS, K. G. F.; GOMES, B. S.; CUNHA, R. L.; CUNHA, E. F. M.; ARAÚJO, F. C. B.; LOPES, A. S.; CAMPOS, W. E. O.; TAUBE, P. S. Determinação dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn por FAAS em raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) da Amazônia Oriental. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 6, p. 2316-2331, 2017.

ZHOU, S. M.; ZHANG, M.; ZHANG, K. K.; YANG, X. W.; HE, D. X.; YIN, J.; WANG, C.Y. Effects of reduced nitrogen and suitable soil moisture on wheat (*Triticum aestivum* L.) rhizosphere soil microbiological, biochemical properties and yield in the Huanghuai Plain, **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, p. 234–250, 2020

ANEXOS

Preparando seu artigo

Estrutura

Seu trabalho deve ser compilado na seguinte ordem: folha de rosto; abstrair; Keywords; introdução do texto principal, materiais e métodos, resultados, discussão; Confirmações; declaração de juros; Referências; apêndices (conforme o caso); tabela(s) com legenda(s) (em páginas individuais); Figuras; legendas de figuras (como uma lista).

Limites do Word

Por favor, inclua uma contagem de palavras para o seu artigo. Não há limites de palavras para artigos nesta revista.

Submissão sem formato

Os autores podem submeter seus trabalhos em qualquer formato ou layout acadêmico. Os manuscritos podem ser fornecidos como arquivos únicos ou múltiplos. Eles podem ser arquivos Word, rich text format (rtf), open document format (odt), PDF ou LaTeX. Figuras e tabelas podem ser colocadas dentro do texto ou enviadas como documentos separados. Os números devem ser de resolução suficiente para permitir a arbitragem.

- Não há requisitos rígidos de formatação, mas todos os manuscritos devem conter os elementos essenciais necessários para avaliar um manuscrito: resumo, afiliação ao autor, figuras, tabelas, informações sobre financiadores e referências. Mais detalhes podem ser solicitados no momento da aceitação.
- As referências podem estar em qualquer estilo ou formato, desde que seja aplicado um formato consistente de citação acadêmica. Para manuscritos submetidos em formato LaTeX um arquivo de referência .bib deve ser incluído. Nome(s) do(s) autor(es), título do periódico ou livro, título do artigo ou capítulo, ano de publicação, volume e número (quando apropriado) e números de página são essenciais. Todos os verbetes bibliográficos devem conter uma citação correspondente no texto. A adição de números DOI (Digital Object Identifier) é recomendada, mas não essencial.
- O **estilo de referência da revista** será aplicado ao artigo pós-aceitação por Taylor & Francis.
- A ortografia pode ser em inglês dos EUA ou do Reino Unido, desde que o uso seja consistente.

Lista de verificação: o que incluir

- Detalhes do autor.** Certifique-se de que todos os autores listados atendam aos critérios de autoria de Taylor e Francis. Todos os autores de um manuscrito devem incluir seu nome completo e afiliação na folha de rosto do manuscrito. Quando disponível, inclua também ORCIDs e identificadores de mídia social (Facebook, Twitter ou LinkedIn). Um autor precisará ser identificado como autor correspondente, com seu endereço de e-mail normalmente exibido no PDF do artigo (dependendo da revista) e no artigo on-line. As afiliações dos autores são as afiliações onde a pesquisa foi realizada. Se qualquer um dos coautores nomeados mover a afiliação durante o processo de revisão por pares, a nova afiliação pode ser dada como uma nota de rodapé. Por favor, note que nenhuma alteração na afiliação pode ser feita depois que seu artigo for aceito. Leia mais sobre autoria.
- Deve conter um resumo não estruturado de 250 palavras. Leia dicas para [escrever seu resumo](#).
- Você pode optar por incluir um **resumo em vídeo** com seu artigo. Descubra [como isso pode ajudar seu trabalho a alcançar um público mais amplo e o que pensar ao filmar](#).
- Entre 3 e 10 **palavras-chave**. Leia [Tornando seu artigo mais detectável](#), incluindo informações sobre a escolha de um título e otimização para mecanismos de pesquisa.
- Detalhes do financiamento.** Por favor, forneça todos os detalhes exigidos pelos seus organismos de financiamento e concessão de subvenções da seguinte forma:
Para subvenções
de agência única Este trabalho foi apoiado pela [Agência de Financiamento] sob subvenção [número xxxx].
Para múltiplas subvenções
de agências Este trabalho foi apoiado pela [Agência de Financiamento #1] sob Grant [número xxxx]; [Agência de Financiamento #2] sob Grant [número xxxx]; e [Agência de Financiamento #3] sob Grant [número xxxx].
- Declaração de divulgação.** Isso é para reconhecer qualquer interesse financeiro ou não financeiro que tenha surgido das aplicações diretas de sua pesquisa. Se não houver interesses concorrentes relevantes a declarar, por favor, indique isso no artigo, por exemplo: *Os autores relatam que não há interesses concorrentes a declarar*. Mais orientações sobre o que é um conflito de interesses e como divulgá-lo.
- Declaração de disponibilidade de dados.** Se houver um conjunto de dados associado ao artigo, forneça informações sobre onde os dados que suportam os resultados ou análises apresentados no artigo podem ser encontrados. Se aplicável, tal deve incluir a hiperligação, o DOI ou outro identificador persistente associado ao(s) conjunto(s) de dados. Os modelos também estão disponíveis para apoiar os autores.
- Deposição de dados.** Se você optar por compartilhar ou tornar os dados subjacentes ao estudo abertos, deposite seus dados em um [repositório de dados reconhecido](#) antes ou no momento da submissão. Você será solicitado a fornecer o DOI, o DOI pré-reservado ou outro identificador persistente para o conjunto de dados.
- Material complementar online.** O material suplementar pode ser um vídeo, conjunto de dados, conjunto de arquivos, arquivo de som ou qualquer coisa que suporte (e seja pertinente ao) seu artigo. Publicamos material suplementar online via Figshare. Saiba mais sobre [material suplementar](#) e como submetê-lo com seu artigo.
- Figuras.** As figuras devem ser de alta qualidade (1200 dpi para arte de linha, 600 dpi para tons de cinza e 300 dpi para cores, no tamanho correto). As figuras devem ser fornecidas em um dos nossos formatos de arquivo preferidos: arquivos EPS, PS, JPEG, TIFF ou Microsoft Word (DOC ou DOCX) são aceitáveis para figuras que foram desenhadas no Word. Para obter informações relacionadas a outros tipos de arquivo, consulte nosso [Documento de submissão de arte eletrônica](#).
- Tabelas.** As tabelas devem apresentar novas informações em vez de duplicar o que está no texto. Os leitores devem ser capazes de interpretar a tabela sem referência ao texto. Por favor, forneça arquivos editáveis.
- Equações.** Se você estiver submetendo seu manuscrito como um documento do Word, certifique-se de que as equações sejam editáveis. Mais informações sobre [símbolos matemáticos e equações](#).
- Unidades.** Use unidades SI (sem itálico).