

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

ISABELA MARTINS BUENO GATO

**CULTIVO DE MAMONA-ANÃ INOCULADA COM
BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO E DOSES
DE N APÓS LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS EM SISTEMA
PLANTIO DIRETO**

Ilha Solteira

2023

ISABELA MARTINS BUENO GATO

**CULTIVO DE MAMONA-ANÃ INOCULADA COM
BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO E DOSES
DE N APÓS LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS EM SISTEMA
PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia
– Unesp, Campus de Ilha Solteira como parte das
exigências para a obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Sistemas de Produção).

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto
Teixeira Filho

Coorientador: Prof. Dr. Vagner do Nascimento

Ilha Solteira

2023

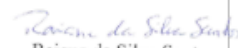
FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

G261c Gato, Isabela Martins Bueno.
Cultivo de mamona-anã inoculada com bactérias promotoras de crescimento e doses de N após leguminosas e gramíneas em sistema plantio direto / Isabela Martins Bueno Gato. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
77 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Engenharia Agrônômica, 2023

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Inclui bibliografia

1. Adubação nitrogenada. 2. *Azospirillum brasiliense*. 3. *Bacillus subtilis*. 4. Extração e exportação de nutrientes. 5. *Pseudomonas fluorescens*. 6. *Ricinus communis* L..


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Setor Técnico de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CULTIVO DE MAMONA-ANÃ INOCULADA COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO E DOSES DE N APÓS LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

AUTORA: ISABELA MARTINS BUENO GATO

ORIENTADOR: MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO

COORIENTADOR: VAGNER DO NASCIMENTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Agronomia, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO (Participação Presencial)
Departamento de Fitossanidade / FEIS UNESP Ilha Solteira

Edson Lazarini
Prof. Dr. EDSON LAZARINI (Participação Presencial)

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Tiago Zoz
Prof. Dr. TIAGO ZOZ (Participação Presencial)

/ Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Ilha Solteira, 17 de fevereiro de 2023

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Doralice Martins Bueno Gato e Marco Antonio Gato e avós, Antonio Gato Filho, Maria Lopes Gato, Odilon da Costa Bueno e Aurora Martins Bueno, que não se faz mais presente entre nós. A vocês, minha homenagem, amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por sempre iluminar meus passos, me dando o auxílio necessário nas dificuldades encontradas no caminho. Sempre me fortalecendo e me incentivando a nunca desistir dos meus sonhos!

À minha amada família pelo amor, carinho e apoio proporcionados a mim! Agradeço meu pai Marco, minha mãe Doralice, minhas primas Beatriz e Natália, avós Maria, Antônio, Odilon e minha querida avó Aurora, que não se faz mais presente entre nós. Agradeço meu namorado Jhonatan, que mesmo longe por muito tempo se fez muito presente e me deu suporte quando mais precisei. Vocês são incríveis, devo muito a vocês!

Ao meu orientador Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho pelas oportunidades, ensinamentos, paciência, compreensão e apoio nesses anos de mestrado.

Deixo meu agradecimento especial ao Carlos Oliveira, por não medir esforços em me ajudar e me orientar sempre que precisei.

Aos meus amigos que fiz durante o mestrado, meu muito obrigada por toda parceria e momentos inesquecíveis: Marina, Andreza, Maysa, Joshua, Gabriel, Lorena, meninas da República TudoPeladona.

Muito obrigada à Banca pela disposição de se fazer presentes nesse momento grandioso!

Agradeço à UNESP–Ilha Solteira por nos proporcionar grandes oportunidades de aprender, trabalhar, evoluir! Obrigada à toda a equipe dessa instituição, em especial toda equipe da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão, que sempre nos auxiliaram em nossas atividades.

Agradeço imensamente ao Grupo de Nutrição de Plantas, em especial ao Laboratório de Nutrição de Plantas e nosso técnico Marcelo, por todo apoio, ensinamentos e lazer que passamos juntos. Graças à colaboração de todos, realizamos ótimos trabalhos.

Por fim, obrigada à todas as outras pessoas que não foram citadas diretamente, mas que pelo simples fato de terem cruzado o meu caminho, são de gigantesca importância na minha vida, somando sempre e me fazendo evoluir cada vez mais.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluvial, temperaturas máxima e mínima registrados durante os cultivos da mamoneira-anã..... 24
- Figura 2.** Efeito das doses de N sobre a altura de plantas após cultivo com gramíneas (A) e leguminosas (B) e sobre o teor de óleo de grãos (E) após gramíneas. Efeito das doses de N e das inoculações sobre o índice de clorofila foliar após gramíneas (C) e após leguminosas (D)..... 31
- Figura 3.** Efeito das doses de N sobre a produtividade de grãos (C) e produtividade de óleo (E) após cultivo com gramíneas. Efeito das doses de N e das inoculações sobre a massa seca da palhada após gramíneas (A) e após leguminosas (B), produtividade de grãos após leguminosas (D) e produtividade de óleo após leguminosas (F)..... 34
- Figura 4.** Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre o acúmulo de N-NH_4^+ após gramíneas (A) acúmulo de N-NO_3^- na palhada cultivados após gramíneas (C) e após leguminosas (D), atividade da NR após gramíneas (E) e após leguminosas (F). E o efeito das doses de N sobre o acúmulo de N-NH_4^+ após leguminosas (B)..... 37
- Figura 5.** Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de N na palhada cultivados após gramíneas (A) e após leguminosas (B), acúmulo de P após gramíneas (C) e após leguminosas (D), acúmulo de K após gramíneas (E) e após leguminosas (F)..... 40
- Figura 6.** Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de Ca na palhada cultivados após gramíneas (A) e após leguminosas (B), acúmulo de Mg após gramíneas (C) e após leguminosas (D), acúmulo de S após gramíneas (E) e após leguminosas (F)..... 43
- Figura 7.** Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de B na palhada cultivados após gramíneas (A) e após leguminosas (B), e efeito das doses de N sobre o acúmulo de Fe na palhada após gramíneas (C) e após leguminosas (D)..... 45
- Figura 8.** Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de Mn na palhada cultivados após gramíneas (A) e após leguminosas (B), sob o acúmulo de Zn na palhada após gramíneas (C), e efeito das doses de N sobre o acúmulo de Zn na palhada após leguminosas (D)..... 47
- Figura 9.** Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de N nos grãos cultivados após gramíneas (A) e após leguminosas (B), acúmulo de P nos grãos após

leguminosas (D) e acúmulo de K nos grãos após leguminosas (F). Efeito das doses de N sobre o acúmulo de P nos grãos após gramíneas (C) e sobre o acúmulo de K após gramíneas (E)..... 50

Figura 10. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de Ca nos grãos (B), acúmulo de Mg nos grãos (D) e acúmulo de S nos grãos (F) cultivados após leguminosas. Efeito das doses de N sobre o acúmulo de Ca nos grãos (A) acúmulo de Mg nos grãos (C) e acúmulo de S nos grãos (E) após cultivo com gramíneas..... 52

Figura 11. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de B nos grãos após cultivo de gramíneas (A) e após leguminosas (B), acúmulo de Cu nos grãos após gramíneas (C) e acúmulo de Fe nos grãos após gramíneas (E) e após leguminosas (F). Efeito das doses de N sobre o acúmulo de Cu nos grãos após leguminosas (D)..... 55

Figura 12. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de Mn nos grãos após cultivo de gramíneas (A) e após leguminosas (B), acúmulo de Zn nos grãos após leguminosas (D). Efeito das doses de N sobre o acúmulo de Zn nos grãos após gramíneas (C)..... 57

Figura 13. Plantio dos experimentos..... 75

Figura 14. Aplicação das bactérias promotoras de crescimento de plantas via foliar..... 75

Figura 15. Foto aérea dos experimentos de mamona..... 76

Figura 16. Colheita dos experimentos..... 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da análise de variância da altura de plantas após cultivo com gramíneas (ALT-G) e leguminosas (ALT-L), índice de clorofila foliar no cultivo após gramíneas (ICF-G) e leguminosas (ICF-L), número de grãos por planta no cultivo após gramíneas (NG-G) e leguminosas (NG-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 29

Tabela 2. Resumo da análise de variância do número de racemos por planta após cultivo com gramíneas (NR-G) e leguminosas (NR-L), massa de 100 grãos no cultivo após gramíneas (M100-G) e leguminosas (M100-L), teor de óleo nos grãos por planta no cultivo após gramíneas (%O-G) e leguminosas (%O-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 30

Tabela 3. Resumo da análise de variância da palhada da parte aérea após cultivo com gramíneas (PAL-G) e leguminosas (PAL-L), produtividade de grãos no cultivo após gramíneas (PG-G) e leguminosas (PG-L), produtividade de óleo nos grãos por planta no cultivo após gramíneas (PO-G) e leguminosas (PO-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 32

Tabela 4. Resumo da análise de variância do acúmulo de N-NH_4^+ (NH_4^+), N-NO_3^- (NO_3^-) na palhada final da mamona, atividade da enzima nitrato redutase foliar (NR) cultivada após gramíneas e leguminosas sob doses de N e inoculações de BPCPs cultivado após cultivo de gramíneas..... 35

Tabela 5. Resumo da análise de variância do acúmulo de nitrogênio na palhada após cultivo com gramíneas (N-G) e leguminosas (N-L), do acúmulo de fósforo na palhada no cultivo após gramíneas (P-G) e leguminosas (P-L), do acúmulo de potássio na palhada no cultivo após gramíneas (K-G) e leguminosas (K-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 38

Tabela 6. Resumo da análise de variância do acúmulo de cálcio na palhada após cultivo com gramíneas (Ca-G) e leguminosas (Ca-L), do acúmulo de magnésio na palhada no cultivo após gramíneas (Mg-G) e leguminosas (Mg-L), do acúmulo de enxofre na palhada no cultivo após gramíneas (S-G) e leguminosas (S-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 41

Tabela 7. Resumo da análise de variância do acúmulo de boro na palhada após cultivo com gramíneas (B-G) e leguminosas (B-L), do acúmulo de cobre na palhada no cultivo após gramíneas (Cu-G) e leguminosas (Cu-L), do acúmulo de ferro na palhada no cultivo após gramíneas (Fe-G) e leguminosas (Fe-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 44

Tabela 8. Resumo da análise de variância do acúmulo de manganês na palhada após cultivo com gramíneas (Mn-G) e leguminosas (Mn-L), do acúmulo de zinco na palhada no cultivo após gramíneas (Zn-G) e leguminosas (Zn-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 46

Tabela 9. Resumo da análise de variância do acúmulo de nitrogênio nos grãos após cultivo com gramíneas (N-G) e leguminosas (N-L), do acúmulo de fósforo nos grãos no cultivo após gramíneas (P-G) e leguminosas (P-L), do acúmulo de potássio nos grãos no cultivo após gramíneas (K-G) e leguminosas (K-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 48

Tabela 10. Resumo da análise de variância do acúmulo de cálcio nos grãos após cultivo com gramíneas (Ca-G) e leguminosas (Ca-L), do acúmulo de magnésio nos grãos no cultivo após gramíneas (Mg-G) e leguminosas (Mg-L), do acúmulo de enxofre nos grãos no cultivo após gramíneas (S-G) e leguminosas (S-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 51

Tabela 11. Resumo da análise de variância do acúmulo de boro nos grãos após cultivo com gramíneas (B-G) e leguminosas (B-L), do acúmulo de cobre nos grãos no cultivo após gramíneas (Cu-G) e leguminosas (Cu-L), do acúmulo de ferro nos grãos no cultivo após gramíneas (Fe-G) e leguminosas (Fe-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 53

Tabela 12. Resumo da análise de variância do acúmulo de manganês nos grãos após cultivo com gramíneas (Mn-G) e leguminosas (Mn-L), do acúmulo de zinco nos grãos no cultivo após gramíneas (Zn-G) e leguminosas (Zn-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs..... 56

RESUMO

O cultivo de mamona tem se expandindo cada vez mais no país e possui potencial de ser explorado em diversas regiões. O Centro-Oeste do Brasil é uma região com elevado potencial para expansão da cultura da mamona. Entretanto, é necessário adotar técnicas que aumentem a produtividade da mamona de forma mais sustentável, como a inoculação por bactérias promotoras de crescimento. Portanto, é necessário avaliar o efeito de doses de nitrogênio e da inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas via foliar com *Azospirillum brasiliense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*, na nutrição, desenvolvimento e produtividade de híbrido de mamona-anã em região de Cerrado, após o cultivo de milho e de soja. Além de averiguar o efeito dos tratamentos no teor de óleo de mamona. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 5x4, com quatro repetições, sendo cinco doses de N (0, 45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de N, utilizando a ureia como fonte) em cobertura e quatro tratamentos com aplicação foliar de bactérias promotoras de crescimento de plantas - BPCPs (*Azospirillum brasiliense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*, além do controle sem inoculação) em duas áreas agrícolas, uma após cultivo de leguminosas e outra após gramíneas. A pesquisa foi desenvolvida em Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, no município de Selvíria – MS. Os acúmulos de N e demais nutrientes, NH₄⁺ e NO₃⁻ na palhada, de N e demais nutrientes nos grãos e a atividade da enzima nitrato redutase também são influenciados de forma positiva e diferenciada por bactérias promotoras de crescimento associadas a doses de N, em cultivos após gramíneas ou leguminosas. A inoculação com *Azospirillum brasiliense* proporciona maior acúmulo de nitrato na palhada, e com *Bacillus subtilis* promove maior acúmulo de N nos grãos e atividade da nitrato redutase na folha, sem diferir da *Pseudomonas fluorescens*. O teor de óleo da mamona-anã praticamente não é influenciado por doses de N. Contudo, o *Azospirillum brasiliense* após leguminosas proporciona menor teor de óleo. As produtividades de grãos e de óleo de mamona aumentam em 20 e 40% na dose estimada de 103 kg ha⁻¹ de N em relação a não aplicação de N em cobertura após cultivo de gramíneas, respectivamente. Após o cultivo com leguminosas, ocorre aumento da produtividade de grãos de mamona com o incremento das doses de N no tratamento não inoculado; além de aumento de 28, 64 e 40% na produtividade de grãos nas doses estimadas de 97, 113 e 92 kg ha⁻¹ de N sob as inoculações com *A. brasiliense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* em relação a dose de 0 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Após o cultivo com gramíneas, as maiores produtividades de grãos são constatadas com inoculação com *B. subtilis* e *A. brasiliense*. Após o cultivo com leguminosas, as inoculações com *A. brasiliense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* proporcionam aumento de 37, 21 e 33% na produtividade de grãos em relação ao não inoculado na dose de 0 kg de N; e na dose de 90 kg ha⁻¹ de N o aumento observado foi de 33, 25 e 40% em relação ao não inoculado, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* promove aumento de 41% na produtividade de grãos em relação ao não inoculado na dose de 135 kg ha⁻¹ de N, e na dose de 45 kg ha⁻¹ de N é observado aumento de produtividade de 50% sob a inoculação de *P. fluorescens* em relação ao não inoculado. Recomenda-se como primeira opção a inoculação com *Bacillus subtilis*, seguida de *Azospirillum brasiliense* para obtenção de altas produtividade de grãos de mamona-anã, com redução de doses de N, independentemente do cultivo antecessor com gramíneas ou leguminosas.

Palavras-chaves: adubação nitrogenada; *Azospirillum brasiliense*; *Bacillus subtilis*, extração e exportação de nutrientes; *Pseudomonas fluorescens*; *Ricinus communis* L.

ABSTRACT

Castor bean cultivation has been expanding more and more in the country and has the potential to be explored in several biosystems. The Midwest of Brazil is the most favorable region for the expansion of the castor bean crop, but it is necessary to implement techniques that increase castor bean productivity in a more sustainable way, such as the inoculation of growth-promoting bacteria. Therefore, to evaluate the effect of nitrogen doses and the inoculation of plant growth-promoting bacteria via foliar route with *Azospirillum brasiliense*, *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens*, on the nutrition, development and productivity of a dwarf castor bean hybrid in the Cerrado region, after the corn and soybean cultivation. In addition to investigating the effect of treatments on the castor oil content of castor bean. The experimental design was randomized blocks, arranged in a 5x4 factorial scheme, with four replications, with five doses of N (0, 45, 90, 135 and 180 kg ha⁻¹ of N, using urea as source) in coverage; four treatments with foliar application of plant growth promoting bacteria - BPCPs (*Azospirillum brasiliense*, *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens*, in addition to the control without inoculation); and two agricultural areas, one after leguminous crops and the other after grasses. The research was carried out in an Oxisol with a clayey texture, in the municipality of Selvíria – MS, Brazil. The accumulation of N and other nutrients, NH₄⁺ and NO₃⁻ in the straw, of N and other nutrients in the grains and the nitrate reductase activity are also positively and differentiated influenced by growth-promoting bacteria associated with N doses, in cultures after grasses or legumes. Inoculation of *Azospirillum brasiliense* provides greater accumulation of nitrate in the straw, and *Bacillus subtilis* promotes greater accumulation of N in grains and nitrate reductase activity in the leaf, without differing from *Pseudomonas fluorescens*. Dwarf castor bean oil content is practically not influenced by N doses. However, *Azospirillum brasiliense* after legumes provides lower oil content. Grain and castor oil yields increase by 20 and 40% at the estimated dose of 103 and 103 kg ha⁻¹ of N compared to non-application of N in coverage after growing grasses, respectively. After cultivation with legumes, there is an increase in castor bean grain yield with the increase in N doses in the non-inoculated treatment; in addition to an increase of 28, 64 and 40% in grain yield at the estimated doses of 97, 113 and 92 kg ha⁻¹ of N under inoculations with *A. brasiliense*, *B. subtilis* and *P. fluorescens* in relation to the dose of 0 kg ha⁻¹ of N, respectively. After cultivation with grasses, the highest grain yields are observed with inoculation with *B. subtilis* and *A. brasiliense*. After cultivation with legumes, inoculations with *A. brasiliense*, *B. subtilis* and *P. fluorescens* provided an increase of 37, 21 and 33% in grain yield compared to non-inoculated at a dose of 0 kg ha⁻¹ of N; and at the dose of 90 kg ha⁻¹ of N the increase observed was 33, 25 and 40% in relation to the non-inoculated, respectively. Inoculation with *B. subtilis* promotes a 41% increase in grain yield compared to non-inoculated at a dose of 135 kg ha⁻¹ of N, and at a dose of 45 kg ha⁻¹ of N a productive increase of 50% is observed under *P. fluorescens* inoculation versus non-inoculated. Inoculation with *Bacillus subtilis* is recommended as a first option, followed by *Azospirillum brasiliense* to obtain high productivity of dwarf castor bean grains, with reduced N doses, regardless of the previous cultivation with grasses or legumes.

Keywords: nitrogen fertilization; *Azospirillum Brasiliense*; *Bacillus subtilis*; nutrient uptake and nutrient removal; *Pseudomonas fluorescens*; *Ricinus communis* L.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1. Mamona	16
2.2. Nitrogênio	18
2.3. <i>Azospirillum sp</i>	18
2.4. <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Pseudomonas fluorescens</i>	20
2.5. Cultivo de mamona após soja e milho.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Localização e caracterização da área experimental	244
3.2. Delineamento experimental e tratamentos da cultura da mamona	25
3.3. Instalação e condução do experimento	25
3.4. Avaliações do projeto.....	26
3.5. Análise estatística	28
4. RESULTADOS	29
4.1. Efeitos das doses de N e inoculações sobre os componentes produtivos	29
4.2. Efeitos das doses de N e inoculações sobre o acúmulo de nutrientes na palhada e atividade da enzima nitrato redutase	34
4.3. Efeitos das doses de N e inoculações sobre o acúmulo de nutrientes nos grãos.....	47
5. DISCUSSÃO	58
6. CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APÊNDICE	75

1. INTRODUÇÃO

A mamona (*Ricinus communis* L.), integrante da família Euphorbiaceae, se desenvolve em diversos locais. O teor de óleo da mamona é cerca de 45-60% e uma fração principal (80-90%) deste óleo não é comestível, sendo constituído por ácido graxo hidroxilado (ácido ricinoléico) que possui propriedades físico-químicas especiais, como alta viscosidade, gravidade específica e valor de hidroxila (MADANKAR *et al.*, 2013; MCKEON, 2016). O atributo de miscibilidade do óleo de rícino com metanol / etanol deu a este óleo uma categoria única em enzimas no processo de esterificação. A expressão da função inibitória do substrato alcoólico na lipase não é considerável e tal comportamento melhora a progressão da reação (MALEKI *et al.*, 2013). Dessa forma, o óleo de mamona foi validado como uma matéria-prima estimada para a produção de biolubrificante.

O preço elevado dos fertilizantes nitrogenados encarece a produção vegetal, além de que, decorrem impactos provenientes das aplicações, em grande parte irregulares, dos adubos nitrogenados, como por exemplo, a poluição dos recursos hídricos e da atmosfera causados pelo uso inadequado de tais fertilizantes. Uma das alternativas de tentar reduzi-los seria a disponibilização do nitrogênio atmosférico por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN) realizada por bactérias diazotróficas, que desempenham função notável na agricultura, uma vez que reduzem o custo de produção das culturas (GUIMARÃES *et al.*, 2013). Dessa forma, é de suma importância à busca de alternativas para possibilitar a produção de mamona de qualidade durante todo o ano, visando o progresso de tecnologias mais sustentáveis para a agricultura nacional, como por exemplo, a utilização de bactérias promotoras de crescimento vegetal dos gêneros *Azospirillum*, *Bacillus* e *Pseudomonas* vislumbrando assim possibilidades de manejos menos impactantes à região. Os agricultores têm constatado que a soja e milho, cultivadas após o cultivo com mamona, têm sido beneficiadas, aumentando suas respectivas produtividades. Possivelmente, devido aos efeitos benéficos, físicos e químicos, que a planta exerce sobre o solo, proporcionando descompactação, estruturação do solo, além da reciclagem de nutrientes do subsolo para a superfície, disponibilizando-os para a cultura subsequente (FERREIRA *et al.* 2006).

A partir de novos cultivares com grande potencial produtivo, ciclo precoce e porte reduzido, a cultura da mamona vem se destacando entre produtores de médio e grande porte, como uma provável alternativa para o cultivo em safrinha, período em o regime de chuvas é restrito, o que limita o desenvolvimento de culturas mais vulneráveis à falta de água. A fim de

promover a entrada da mamoneira em sistemas de cultivo de grande escala, necessita-se do desenvolvimento de novas tecnologias, possibilitando que seu máximo potencial produtivo seja atingido. Destaca-se os problemas da colheita mecanizada da cultura como um dos principais entraves para a expansão da área de cultivo de mamona no Brasil.

O cultivo da mamoneira no Cerrado, com emprego de alta tecnologia, traz inúmeras melhorias para o solo, além de quebrar o ciclo de doenças e pragas das culturas tradicionais, a cultura eleva as opções de plantio em rotação com a cultura principal ou em segunda safra e aprimora a rentabilidade do agricultor, mediante sua integração na cadeia de produção de biocombustível. Uma vez sendo recente o cultivo da mamona-anã em grandes áreas, tem-se uma grande escassez quando se diz a respeito das práticas de cultivo, sobretudo em relação a adubação nitrogenada e inoculação de bactérias promotoras de crescimento (BPCP) para híbridos de mamona anã em cultivo de safrinha.

As hipóteses testadas foram as seguintes: O fornecimento adequado de nitrogênio em cobertura favorece a nutrição de plantas e produtividade de mamona; A inoculação de bactéria promotora de crescimento beneficia os componentes produtivos e nutrição da mamona; A inoculação com bactérias promotores de crescimento de plantas pode reduzir o fornecimento de N do fertilizante mineral em cobertura; A resposta da cultura da mamona à doses de N e a inoculação com BPCP será diferente após cultivo de leguminosas e de gramíneas. Sendo assim, objetivou-se avaliar o efeito de doses de nitrogênio e da inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas via foliar com *Azospirillum brasiliense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*, na nutrição, desenvolvimento e produtividade de híbrido de mamona-anã em região de Cerrado, após o cultivo gramíneas e leguminosas. Além de averiguar o efeito dos tratamentos no teor óleo de mamona.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Mamona

A mamona (*Ricinus communis* L.), pertencente à família Euphorbiaceae, uma oleaginosa de grande valor socioeconômico que tem se destacado por sua rusticidade e boa adaptação às condições antagônicas de clima e solo, além de alta produção e alto teor de óleo em suas sementes (SANTOS *et al.*, 2011). A ricinocultura retrata uma importante alternativa para a agricultura familiar do semiárido do Nordeste brasileiro, uma vez que essa cultura é altamente resistente à seca, dispondo de um comércio lucrativo, e pode ser consorciada com outras culturas, em especial o feijão (AZEVEDO; LIMA, 2001). A mamona possui um óleo com inúmeras utilizações industriais, desde próteses ósseas até lubrificantes de motores. Existem relatos antigos do seu cultivo na Ásia e na África, podendo-se afirmar que a mamona já era utilizada pelos egípcios há pelo menos 4.000 anos. Na Grécia antiga, alguns filósofos mencionaram em seus escritos o emprego do óleo de mamona no Egito para iluminação e na produção de bálsamos. No Brasil, a planta foi trazida pelos portugueses com a finalidade de utilizar seu óleo para iluminação e lubrificação de eixos de carroça (CHIERICE; CLARO NETO, 2001).

O Brasil obteve destaque como produtor de mamona em 1940, representando 60% da produção mundial. O clima tropical preeminente no país promoveu a disseminação da cultura (BELTRÃO *et al.*, 2006). Em seguida, a cultura foi esquecida, especialmente pelos órgãos de pesquisas. Só no final da década de noventa, o crescimento da demanda de grãos de mamona possibilitou o cultivo em grandes áreas nas regiões de Minas Gerais e Mato Grosso. Ganhando espaço também nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás (BELTRÃO, 2003).

O óleo é o mais importante componente da semente – o óleo de rícino. Este é extraído com base na prensagem das sementes, contendo aproximadamente 90% de triglicerídeos derivados dos ácidos graxos ricinoleicos.

Conforme Savy Filho e Benzatto (1983), o mais tradicional subproduto da mamona é a torta, formada conforme a moagem dos cachos juntamente com restos dos frutos após a prensagem. Seu alto teor de proteína é o grande atrativo para alimentação animal, entretanto a presença de compostos tóxicos de difícil eliminação tem tornado inexecutável tal opção. Em razão à inexistência de um procedimento seguro para sua desintoxicação, a torta tem sido utilizada principalmente como adubo orgânico em culturas de café, milho, feijão, entre outras, também como matéria-prima para a produção de aminoácidos, plásticos biodegradáveis, colas, inseticidas, além de desempenhar uma função de controlador da atividade de nematoides no solo (SEVERINO *et al.*, 2004). Além do mais, aproveita-se todas suas partes, nas quais as folhas

servem de alimento para o bicho da seda e, misturadas à folhagem, aumentam a secreção láctea das vacas (CITAÇÃO). A haste, além de celulose própria para a fabricação do papel, fornece matéria prima para a confecção de tecidos rústicos (BDMG, 2000).

Diante de tudo isso, a mamona, que não entra na cadeia alimentícia, pode ser considerada um “petróleo verde”. O emprego do biodiesel no Brasil modificou a matriz energética, atenuou a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e melhorou a distribuição de renda e de trabalho no meio rural. No entanto, o crescimento das lavouras bioenergéticas nos moldes convencionais exige reflexões devido aos impactos ao solo, água, biodiversidade, habitats singulares e à segurança alimentar, pelo crescente uso de recursos naturais, de energia no processo de produção, que pode tornar áreas de lavouras alimentícias para a geração de biocombustíveis (BONIN; LAL, 2012). O efeito estufa, intrínseco ao consumo de combustíveis fósseis, também, tem tornado a temperatura do planeta mais elevada, acarretando a desertificação do semiárido brasileiro (NOBRE, 2011).

O cultivo de mamona, presente em maior escala no estado da Bahia, tende a se mover para a região Centro-Sul. Embora a mamoneira se adequa ao ambiente seco, o que previne problemas fitossanitários, o déficit hídrico reduz o rendimento de grãos, ainda que haja um incremento de óleo em níveis elevados de até 700 ppm de água (VANAJA *et al.*, 2008). No entanto, a introdução da ricinocultura na região Centro-Sul demanda atenção quanto aos aspectos fitossanitários e de conservação do solo, pois, amplos espaçamentos e o lento crescimento da mamoneira no início do ciclo das plantas, combinados ao preparo do solo com aração e gradagem sob alta pluviosidade, provocam erosão do solo; estimada por Bagatini *et al.* (2011) em 41,5 t de solo ha⁻¹ ano⁻¹ perdidos no cultivo da mamona no Brasil.

Adequar o manejo também se faz necessário, sendo que, a alta umidade do ar, temperaturas amenas e cultivares suscetíveis são condições propensas à ocorrência do mofo cinzento – *Amphobotrys ricini*; fungo que restringe a produtividade e a qualidade do óleo nos grãos (SUSSEL *et al.*, 2011), não havendo ainda genótipos de mamona resistentes. O sistema de cultivo mínimo (SCM) no plantio de mamona, utilizando cereais de inverno em rotação, gera óleo vegetal para o biodiesel, grãos para alimentação humana, diversifica renda familiar, conserva o solo, reduz o input externo via a reciclagem de nutrientes e melhora as características do solo, por meio da fixação de carbono dos resíduos vegetais (DEVIDE *et al.*, 2010). A baixa incorporação dos resíduos, também, ajuda a manter baixo o inóculo do fungo presente nos restos culturais da mamoneira (MASSOLA JUNIOR; BEDENDO, 2000).

2.2. Nitrogênio

O cultivo da mamona em grandes áreas é recente, sendo assim tem-se uma forte ausência de práticas de cultivo, principalmente a que se refere a adubação nitrogenada para híbridos de mamona em cultivo de segunda safra. A produção nacional ainda é muito baixa. Conforme estimativas da Conab (2020), a área plantada com mamona na safra 2019/2020 foi de 45.500 ha e produção de 43,3 mil toneladas (951 kg ha^{-1}). Em tais áreas, a inserção da mamona nos programas de rotação de culturas pode resultar em incremento considerável de fertilidade do solo. A mamona extraí em torno de 156 kg ha^{-1} de nitrogênio e 172 kg ha^{-1} de potássio (NAKAGAWA, 1971), porém pouco se sabe sobre a demanda dos híbridos de mamona. Além dos benefícios ao solo, é viável o retorno econômico, levando em conta, a crescente demanda da oleaginosa para produção de lubrificantes e cosméticos.

A mamona tem alta demanda por nitrogênio e, quando cultivada sob deficiência, observa-se redução no crescimento e como efeito, plantas de baixo porte. A frutificação, quando ocorre, é fraca com poucos racemos e frutos com peso abaixo do esperado (SANTOS *et al.*, 2004). Conforme Fageria, Stone e Santos (1999), a eficiência do uso das fontes de N mais empregadas no Brasil é ao redor de 50%, além do que, a eficiência da adubação nitrogenada, na maior parte das vezes, é baixa (CRUSCIOL *et al.*, 2007). Dessa forma, o manejo da adubação com N é considerado um dos mais complexos (SANTOS *et al.*, 2003). É complicado acertar a quantidade de nitrogênio a ser aplicada (CAMPOS, 2004), além da época de aplicação na prática, principalmente em cultivo de segunda safra, em que nos deparamos com um volume de chuvas menor. No sistema plantio direto (SPD) tal dificuldade é maior, uma vez que a cultura antecessora é capaz de imobilizar parte do nitrogênio do solo, principalmente as gramíneas. Além disso, como a mamoneira requer alta demanda de nitrogênio, é imprescindível que este nutriente seja fornecido na época adequada (MORO *et al.*, 2011).

A pesquisa tem voltado sua atenção a fertilização nitrogenada na cultura da mamona (Lange *et al.*, 2005; Severino *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2008; Moro *et al.*, 2011; Ferreira *et al.*, 2014; Mateus *et al.*, 2015). Contudo para a região Centro-Oeste, onde a mamona está ampliando sua área cultivada, há poucas pesquisas, e em algumas situações, as recomendações de adubação em monocultivos divergem grandemente, além de não haver conhecimento real da exigência dos híbridos de mamona-anã.

2.3. *Azospirillum* sp.

As espécies do gênero *Azospirillum* são α -proteobactérias de vida livre, podendo também se comportarem como associativas, colonizando a rizosfera e espaços intercelulares de

não leguminosas. Além de tornar o nitrogênio atmosférico assimilável pela planta, essas bactérias também são eficientes em solubilizar fosfato, produzir hormônios vegetais, atuar como antagonistas a espécies patogênicas e, por esse motivo, são também consideradas promotoras de crescimento vegetal (BPCV), sendo o gênero mais estudado das BPCV. Isso devido, principalmente, ao seu uso como inoculantes, comercializados no Brasil com recomendação para gramíneas como o milho e trigo (HUNGRIA *et al.*, 2011). Tais bactérias vivem espontaneamente na maior parte dos solos e apresentam grande diversidade genética; contudo, para seu uso como inoculantes em culturas agrícolas, é necessário a escolha de estirpes eficientes para esta finalidade (ARDAKANI *et al.*, 2011).

O efeito isolado da inoculação de *Azospirillum* a campo é conforme a capacidade das estirpes selecionadas em sobreviverem e colonizarem sementes germinadas, na presença de inúmeros outros microrganismos da rizosfera, bem como da habilidade de motilidade e quimiotaxia em direção aos exsudatos radiculares (BASHAN; LEVANONY, 1990; CREUS *et al.*, 1996; BASHAN; HOLGUIN, 1997; HAUWAERTS *et al.*, 2002). Atributos do solo, como pH, umidade, temperatura, disponibilidade de fontes de carbono, entre outros estão diretamente relacionados à alta presença e a ação desses microrganismos no solo (JACOUD *et al.*, 1998; ALEXANDRE *et al.*, 1999; JAMES, 2000; CHOTTE *et al.*, 2002).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) na planta, no decorrer da associação planta-bactérias, é um meio em que as bactérias somente fornecem o nitrogênio fixado, isso se fontes de carbono e energia estão satisfatoriamente disponíveis (CHUBATSU *et al.*, 2012). Segundo Roscoe e Miranda (2013), essas bactérias são capazes de romper a tripla ligação do N₂ atmosférico e reduzi-lo à amônia, promover o crescimento das raízes e da parte aérea, aumentar a absorção de água e minerais, plantas com maior tolerância a estresses abióticos, tais como salinidade e seca, além de, associadas às plantas, podem reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados. Todavia, em alguns ensaios conduzidos no Brasil (HUNGRIA *et al.*, 2011), o incremento da produtividade devido à inoculação com *Azospirillum* foi correlacionado não apenas com o aumento de N, mas também com outros nutrientes, como o P e K, fato também relatado em outros países conforme observado nos trabalhos de Bashan e Holguin (1997), Steenhoudt e Vanderleyden (2000) e Bashan *et al.* (2010). Nessa perspectiva, baseado no fato de que existem vários mecanismos implicados no desenvolvimento de plantas pelo *Azospirillum*, o resultado observado no crescimento vegetal pode resultar da atuação de um ou da interação de vários desses (BASHAN; BASHAN, 2010), podendo ainda variar conforme a espécie, a estirpe e as condições ambientais. No entanto, o principal efeito do *Azospirillum* identifica-se estar ligado ao aumento do crescimento radicular que, em condições favoráveis,

beneficia a absorção de água e nutrientes, o que influencia significativamente na produtividade (LIN *et al.*, 1983). Segundo El-Sayed *et al.* (2015), o *Azospirillum* proporciona maior laterilização radicular e abundância de pelos absorventes. A maior superfície radicular é capaz de uma considerável exploração de água e nutrientes no solo. Possivelmente pelo maior crescimento radicular e melhor nutrição das plantas, vale ressaltar que também há vários relatos de maior tolerância a agentes patogênicos de plantas (CORREA *et al.*, 2008).

Um dos principais mecanismos sugeridos para elucidar o estímulo do crescimento vegetal em plantas inoculadas com *Azospirillum* está associado à sua capacidade de produzir e metabolizar compostos reguladores de crescimento vegetal, além da FBN (OKON; LABANDERA-GONZÁLES, 1994). A elaboração de fitohormônios como auxinas, giberelinas e citocinas é uma característica peculiar dessas bactérias (DOBBELAERE; VANDERLEYDEN; OKON, 2003) Conforme Kaneko *et al.* (2010), atualmente há 16 espécies do gênero *Azospirillum* caracterizadas. Dentre as espécies mais estudadas do gênero *Azospirillum*, destacam-se o *A. brasilense*, o *A. lipoferum*, o *A. amazonense* e o *A. irakense* (REIS JUNIOR, 2007).

2.4. *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*

O controle biológico por microrganismos tem-se mostrado uma alternativa perspicaz para a redução ou eliminação do uso de agroquímicos no controle de fitopatógenos. A ampla variedade de microrganismos, como também suas relações antagônicas, manifestam-se como meios importantes para o controle biológico aplicado. Especialmente para bactérias, muitos trabalhos vêm sendo realizados para explanar as interações entre antagonista-patógeno-hospedeiro (ROMEIRO *et al.*, 2005; HALFELD-VIEIRA *et al.*, 2006; RYAN *et al.*, 2008), com a finalidade de afunilar a assimilação entre a ecologia e os mecanismos de ação que mediam tais interações. Os gêneros de bactérias antagonistas de maior predomínio são as *Pseudomonas* do grupo fluorescentes (*P. putida* e *P. fluorescens*), *Bacillus* spp., *Streptomyces* spp. e representantes da família Enterobacteriaceae (CAMPOS SILVA *et al.*, 2008).

Sobretudo, o gênero *Bacillus* spp. se sobressai por formar endósporo e identificar uma multiplicidade de mecanismos antagônicos. Proporcionando assim, a sua ampla sustentação e sobrevivência em nichos ecológicos específicos, com grande multifuncionalidade nos mecanismos de ação para driblar as defesas dos fitopatógenos. Em relação à espécie *B. subtilis*, ela revela-se como notável agente de biocontrole, sendo capaz de ser encontrado como PGPR (rizobactérias promotoras de crescimento em plantas), bactérias epifíticas e endofíticas (GUPTA *et al.*, 2000; ONGENA *et al.*, 2005).

A promoção de crescimento provocada por *B. subtilis* é efeito do aumento da fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfato e zinco, síntese de fitormônios, além do restauro das condições do solo. Além dos benefícios indiretos pela remoção deste ambiente contra microrganismos maléficos (MANJULA; PODILE, 2005). Ainda, a associação benéfica permite o aumento fisiológico de metabólitos que estimulam a sensibilidade do sistema radicular às condições externas, propiciando a aptidão da percepção e absorção de nutrientes (MANJULA; PODILE, 2005). Isolados de *B. subtilis* também têm a habilidade de conduzir a regulação hormonal de plantas, como citado por Tsavkelova *et al.* (2006) e Persello-CartieauX *et al.* (2003), influenciando assim, no controle do crescimento radicular pela síntese de auxina, giberelina e citocinina.

Pesquisas conduzidas por Araujo (2008) mostraram que sementes de algodão, milho e soja expostas ao tratamento com bioformulado a base de *B. subtilis* PRBS1 tiveram aumento na emergência das plântulas. Dessa forma, é conveniente que o rápido desenvolvimento da plântula leva a mesma a atingir mais rapidamente o estágio adulto, permanecendo menos tempo no campo, proporcionando o escape contra patógenos presentes no solo e no ambiente externo. Além do mais, possibilita maior resistência a condições abióticas adversas por mostrar-se nutricionalmente balanceada. O êxito do *B. subtilis* na promoção de crescimento de plantas está intrinsecamente associada com as características biológicas deste microrganismo, o qual manifesta meios para a manutenção de sua viabilidade em bioformulados. Deste modo, a capacidade para o incremento da produtividade, além da redução de doenças, tem sido validada para espécies de *Bacillus*. A promoção de crescimento e proteção contra patógenos em plantas são atributos encontradas naturalmente em bactérias do gênero *Pseudomonas*. Tais bactérias não estabelecem uma simbiose conforme ao que ocorre no *Rhizobium* com algumas plantas, no entanto estas bactérias são capazes de penetrar nos tecidos vegetais e constituir-se como endófitos (RYAN *et al.*, 2008; MARQUEZSANTACRUZ *et al.*, 2010).

No interior da planta, bactérias do gênero *Pseudomonas* também representam um relevante papel como promotoras de crescimento de plantas, inibindo o crescimento de agentes patogênicos por meio de diferentes mecanismos (COMPANT *et al.*, 2005; RYAN *et al.*, 2008). Tais características esclarecem o desenvolvimento de novos produtos comerciais de biocontrole. As bactérias do gênero *Pseudomonas* proporcionam resistência a doenças nas plantas, principalmente em cana-de-açúcar e tomateiro, podendo ainda, sintetizar sideróforos em condições de limitação do ferro, sendo um fator que induz expressão gênica em genes envolvidos na síntese de sideróforos (SANTOYO; OROZCOMOSQUEDA; GOVINDAPPA, 2012).

As *Pseudomonas* sp. são classificadas como o grupo mais promissor de rizobactérias no crescimento de plantas, compreendendo no controle biológico das doenças em vegetais, além de serem capazes de produzir metabólitos secundários como antibióticos, fitohormônios, compostos voláteis, e sideróforos; no entanto, a habilidade de tais bactérias em promover o crescimento de plantas, está correlacionada principalmente pelo fato desses organismos sintetizarem o AIA e outros compostos importantes (SIVASAKTHI; USHARANI; SARANRAJ, 2014).

Várias rizobactérias dos gêneros pertencentes a *Pseudomonas* spp. e *Bacillus* spp. são evidenciados por solubilizar o zinco. Microrganismos são capazes de solubilizar as formas metálicas por prótons, ligantes quelatos, e sistemas oxidorredutores presentes na superfície celular e membranas (CRANE *et al.*, 1985; WAKATSUKI, 1995). Tais bactérias também apresentam outros atributos favoráveis as plantas, como a produção de fitohormônios, antibióticos, sideróforos, vitaminas, substâncias antifúngicas, e cianeto de hidrogênio (RODRÍGUEZ, FRAGA, 1999).

2.5. Cultivo de mamona após soja e milho

Sendo apta ao cultivo no semiárido (variedades de porte médio/alto e colheita manual) e em outras partes do Brasil, especialmente no cerrado (variedades anãs e híbridos, aptos para colheita mecanizada), como primeira ou segunda safra. Possui baixa pressão de pragas, tornando-a uma ótima opção para rotação de cultura, baixa pressão de doenças e por ocasião mais habitual relacionada às condições locais de maior umidade, podendo ser controladas com fungicidas. Emprega-se as mesmas maquinarias e equipamentos de cultivo e colheita do milho, com pequenas adaptações, capazes de produzir acima de 3.000 kg ha⁻¹, em condições de chuvas normais, bem distribuídas e superiores a 750-950 mm por ciclo, e até 8.000 kg ha⁻¹ em condições irrigadas, cenário em que produtividades próximas de 4.000 kg ha⁻¹ são mais comuns; seu óleo é de uso especificamente industrial, não concorrendo com o consumo humano (exceto para fins medicinais, quando extraído a frio e por prensagem); o seu cultivo rotacionado, por não ser hospedeiro, bem como o uso de sua torta (2 a 5 t ha⁻¹), com ação nematicida, tem potencial para diminuir a pressão de nematoide no solo, notadamente crítica em solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica, ao serem submetidos a exploração irrigada intensiva, como nos Pivôs Centrais do Oeste do Estado da Bahia (FERREIRA *et al.*, 2006).

O plantio de mamona no Cerrado ocorre na segunda safra após a colheita do milho ou da soja. Os agricultores têm constatado que as culturas, cultivadas após o cultivo com mamona, têm sido beneficiadas, aumentando suas produtividades. Possivelmente, devido aos feitos

benéficos, físicos e químicos, que a mamoneira exerce sobre o solo, proporcionando descompactação, estruturação do solo, além da reciclagem de nutrientes do subsolo para a superfície, disponibilizando-os para a cultura subsequente (FERREIRA *et al.* 2006). A mamona beneficia-se, eficientemente da adubação residual da cultura antecessora, sendo excelente opção para compor o sistema de rotação na propriedade. Perante solos bem corrigidos e adubados, somente o uso da adubação nitrogenada de cobertura, no início do florescimento é suficiente para atingir seu potencial produtivo, caso for usado em sucessão à soja (FERREIRA *et al.*, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

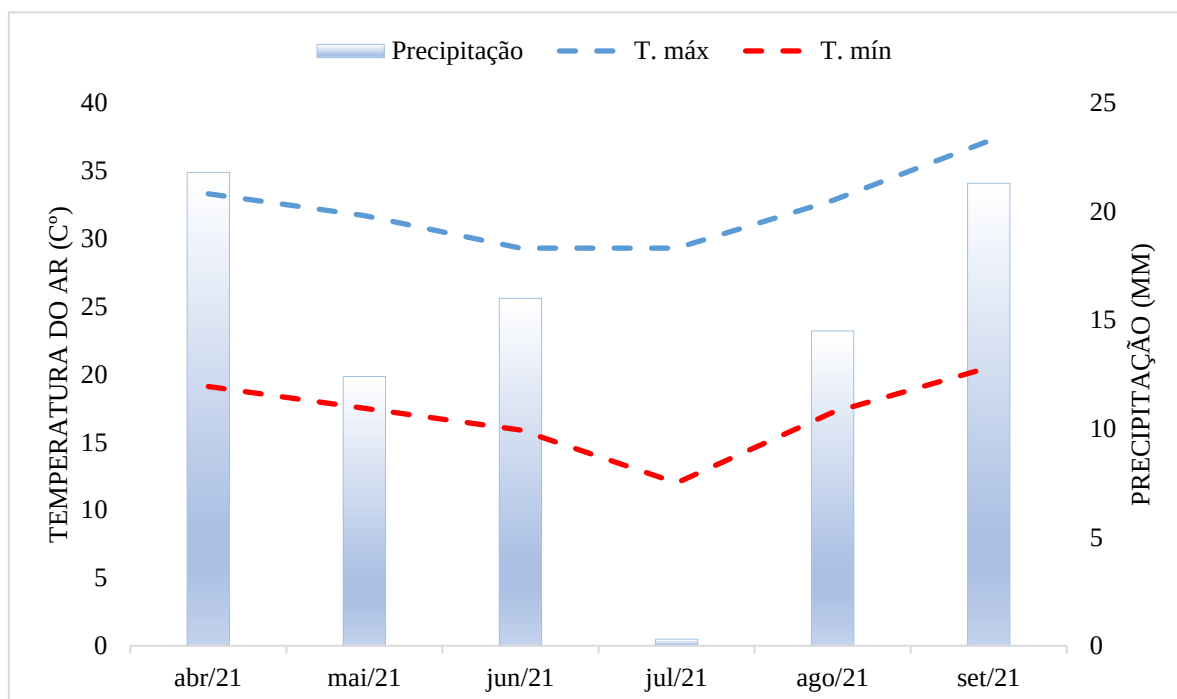
3.1. Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi desenvolvida na área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria – MS, situada aproximadamente a 51° 22' W, 20° 22' S, e altitude de 335 metros.

O solo é Latossolo Vermelho Distrófico (Santos *et al.*, 2018). O experimento foi instalado em duas áreas em sistema plantio direto, após cultivo de leguminosas (sucessão soja/feijão, sendo o último cultivo de soja) e de gramíneas (sucessão milho/trigo, sendo o último cultivo de milho).

A precipitação média anual é de 1.370 mm, a temperatura média anual é de 23,5 °C e a umidade relativa do ar entre 70 e 80% (média anual). O tipo climático é Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação e as temperaturas máxima e mínima durante o cultivo da mamoneira foram monitoradas (Figura 1).

Figura 1. Precipitação e temperaturas máximas e mínima registrados durante o cultivo da mamona-anã, de abril a setembro de 2021.



Fonte: Canal CLIMA da UNESP Ilha Solteira - Área de Hidráulica e Irrigação.

O fornecimento de água, quando necessário, foi realizado por um sistema fixo de irrigação convencional por aspersão com precipitação média de 3,3 mm hora⁻¹ nos aspersores e lâmina de irrigação média de 13 mm. A precipitação pluvial foi determinada em um pluviômetro Ville de Paris instalado na área experimental.

O híbrido utilizado foi o MIA, da empresa Kaiima. Possui produtividade média de 1.400 kg ha⁻¹, em área de sequeiro, com ciclo precoce (120-140 dias), altura entre 100-140 cm, porte adaptado a colheita mecanizada, o teor de óleo nas sementes é em torno de 50% +- 2%, e possui efeito nematocida para galhas (*M. incognita* e *M. javanica*) e *Pratylenchus brachyurus*.

Os atributos químicos do solo na camada de 0,0 - 0,20 m foram determinados antes da instalação do experimento com mamona, segundo metodologia proposta por Raij *et al.*, (2001), e apresentaram os seguintes resultados: a) na área após cultivo de gramíneas: 31,4 mg dm⁻³ de P (resina); 4 mg dm⁻³ de S-SO₄; 22 g dm⁻³ de M.O.; 5,7 de pH (CaCl₂); K, Ca, Mg, H+Al = 2,2; 22,0; 14,0 e 28,0 mmol_c dm⁻³, respectivamente; Cu, Fe, Mn, Zn (DTPA) = 3,1; 27,0; 41,2 e 2,3 mg dm⁻³, respectivamente; 0,28 mg dm⁻³ de B (água quente), CTC = 66,2 mmol_c dm⁻³ e 58% de saturação por bases; b) na área após cultivo de leguminosas: 37,0 mg dm⁻³ de P (resina); 3 mg dm⁻³ de S-SO₄; 25 g dm⁻³ de M.O.; 5,7 de pH (CaCl₂); K, Ca, Mg, H+Al = 4,4; 37,0; 24,0 e 31,0 mmol_c dm⁻³, respectivamente; Cu, Fe, Mn, Zn (DTPA) = 5,5; 24,0; 84,7 e 2,5 mg dm⁻³, respectivamente; 0,32 mg dm⁻³ de B (água quente), CTC = 96,4 mmol_c dm⁻³ e 68% de saturação por bases.

3.2. Delineamento experimental e tratamentos da cultura da mamona

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, disposto em esquema fatorial 5x4, com quatro repetições, sendo cinco doses de N (0, 45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de N, utilizando a ureia como fonte), em cobertura e quatro tratamentos com aplicação foliar de bactérias promotoras de crescimento de plantas - BPCPs (*Azospirillum brasiliense*, *Bacillus subtilis* e *Pseudomonas fluorescens*, além do controle sem inoculação) em duas áreas agrícolas, uma após cultivo de leguminosas (soja/feijão) e outra após gramíneas (milho/trigo).

3.3 Instalação e condução do experimento

A semeadura mecanizada foi realizada no mês de abril de 2021, utilizando um espaçamento de 0,90 m entrelinhas. As parcelas foram constituídas por oito linhas de 5,0 m de comprimento com plantas espaçadas de 0,30 m entre si. A área útil foi constituída pelas quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 0,50 m em ambas as extremidades de cada linha.

Como não há recomendações de doses de inoculantes para a cultura da mamona, utilizamos as mesmas utilizadas para a cultura do milho. A inoculação com as cepas de *A. brasilense* Ab-V5 e AbV6 foi feita na dose de 100 mL de inoculante líquido por hectare [equivalente a 100 mL de inoculante por 73.400 sementes de mamona plantadas - garantia de 2×10^8 UFC (unidade formadora de colônia) mL⁻¹]. A inoculação com *B. subtilis* cepa CCTB04, foi realizada na dose de 100 mL de inoculante líquido por hectare (equivalente a 100 mL de inoculante por 73.400 sementes de mamona plantadas - garantia de 1×10^8 UFC mL⁻¹). A inoculação com *P. fluorescens* cepa CCTB03 foi realizada na dose de 100 mL de inoculante líquido por hectare (equivalente a 100 mL de inoculante por 73.400 sementes de mamona plantadas - garantia de 1×10^8 UFC mL⁻¹). Estas são cepas comerciais usadas no Brasil, para *A. brasilense* (nome comercial AzoTotal), *B. subtilis* (nome comercial Vult) e *P. fluorescens* (nome comercial Audax). Ambas as inoculações (*A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens*) foram realizadas aplicando via foliar na mamoneira em estágio V4, na parte da manhã, com auxílio de um pulverizador costal e vazão de 300 L ha⁻¹. O tratamento testemunha não recebeu inoculação, porém realizou-se o tratamento químico das sementes com fungicida e inseticida Standk Top 2g kg⁻¹, de forma semelhante aos tratamentos inoculados.

O manejo de plantas daninhas foi realizado com o pré-emergente Dual Gold na dose 1,5 L e com o pós-emergente Gladium na dose 20 g ha⁻¹, de acordo com o recomendado para a cultura da mamona ou soja.

Para a adubação mineral nos sulcos de semeadura utilizou-se o 250 kg ha⁻¹ formulado 8-28-16, sendo assim fornecidos 20 kg ha⁻¹ de N, 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 40 kg ha⁻¹ de K₂O. A adubação nitrogenada em cobertura foi de acordo com a calibração de doses estabelecidas entre os tratamentos, usando como fonte a ureia.

3.3. Avaliações e análises

Foram realizadas as seguintes avaliações:

- a) *Massa de 100 grãos*: estimou-se a média da massa de cem grãos pela coleta ao acaso e pesagem de uma amostra de 100 grãos de cada parcela, medindo-se a umidade da amostra.
- b) *Produtividade de frutos e sementes*: todos os frutos produzidos pela planta até o último cacho maduro das duas linhas centrais, foram computados e pesados; depois de abertos, procedeu-se à pesagem das sementes de cada tratamento, em uma balança de precisão.
- c) *Número de racemos totais*: quantificação dos racemos primários e secundários, por planta.
- d) *Número de cápsulas no racemo primário e secundários*: quantificação das cápsulas no racemo primário e secundários, respectivamente, por planta.

- e) *Número de grãos no racemo primário e secundários*: quantificação dos grãos nos racemos primários e secundários, respectivamente.
- f) *Teor de óleo*: foi utilizado o método de extração do óleo para se determinar o teor de óleo da semente da mamoneira, a extração por prensagem a frio. Pesou-se 100g dos grãos de mamona sem casca e, coloca-se em um filtro prensa adaptado com prensa mecânica de 10 toneladas. Os volumes de óleos obtidos foram medidos em uma proveta de 100 mL e, o teor de óleo em triplicata expresso em mL kg⁻¹ do produto adotando-se a média aritmética simples como resultado.
- g) A eficiência de utilização de nutrientes (EUN) para cada tratamento foi calculada pela expressão: $EUN = (\text{massa seca total da planta})^2 / (\text{acúmulo total do nutriente na planta})$; em (g de MS)² / g do nutriente acumulado (SIDDIQI; GLASS, 1981).
- h) *Atividade da nitrato redutase*: a atividade da nitrato redutase (NR) foi determinada, in vivo, seguindo os procedimentos de Radin (1974). As folhas das plantas de mamona foram coletadas pela manhã, armazenadas em sacos plásticos e posteriormente transportadas para laboratório. Depois disso, foram cortados 1g do tecido fresco, colocados em tubos de ensaio contendo 5 mL de solução tampão de fosfato pH 7,4 (50 mM Na-fosfato + 200 mM KNO₃). Os referidos tubos de ensaio (embrulhados em papel alumínio para proteger da luz) foram incubados em banho-maria com agitação a 37 °C por 30 min. A reação foi interrompida pela adição de 1 mL de sulfanilamida a 1% em ácido clorídrico a 2 M, seguido por 1 mL de 0,05% solução de naftilenodiamina. A atividade da NR foi medida em um espectrofotômetro de UV-Vis, em 540 nm, usando solução de nitrito (NO₂⁻) como padrão da curva de calibração. Os resultados foram expressos em μmol NO₂⁻ h⁻¹ g⁻¹ PF.
- i) *Determinação de nitrato (N-NO₃⁻) e amônio (N-NH₄⁺)*: Foram determinadas as concentrações de NO₃⁻ e NH₄⁺ na parte aérea foi realizada de acordo com a metodologia de (SILVA, et. Al 2010). O acúmulo NO₃⁻ e NH₄⁺ na parte aérea das plantas foi calculado com base nas respectivas de matéria seca e concentrações de NO₃⁻ e NH₄⁺ obtidas.
- j) *Avaliações nutricionais*: após secagem, pesagem e trituração dos materiais vegetais em moinho Wiley, foram determinados segundo a metodologia de Malavolta *et al.* (1997), as concentrações de N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, B e Zn na palhada e grãos de mamona. O acúmulo de nutrientes na palhada e grãos das plantas foi calculado com base nas respectivas de matéria seca e concentrações de nutrientes obtidas. Usando a equação: produtividade de massa seca (em kg ha⁻¹) X concentração de nutrientes (em g kg⁻¹ ou mg kg⁻¹) = acúmulo de nutrientes em kg ha⁻¹ ou mg ha⁻¹.

3.4. Análise estatística

Os resultados obtidos pelas avaliações foram submetidos ao teste F da análise de variância. Ao apresentar resultado significativo pelo teste F, realizou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% das médias das inoculações com BPCPs e, ajustadas as equações de regressão para o efeito das doses de nitrogênio, analisando separadamente o cultivo após leguminosas e após gramíneas. As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2019).

4. RESULTADOS

4.1. Efeitos das doses de N e inoculações sobre os componentes produtivos

Houve efeito significativo ($p < 0,01$) das inoculações com BPCPs sobre a altura de plantas e índice de clorofila foliar (ICF) da mamona cultivada em SPD após gramíneas e leguminosas e significativo ($p < 0,05$) das doses de N sobre a altura de plantas. Foi observado efeito significativo ($p < 0,01$) da interação entre inoculações e doses de N sobre o ICF nos dois sistemas de cultivo (Tabela 1). A menor altura de plantas foi verificada sob a inoculação de *A. brasilense* em comparação aos demais cultivado após gramíneas e menor também que as inoculações com *B. subtilis* e *P. fluorescens* sob cultivo após leguminosas (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância da altura de plantas após cultivo com gramíneas (ALT-G) e leguminosas (ALT-L), índice de clorofila foliar no cultivo após gramíneas (ICF-G) e leguminosas (ICF-L), número de grãos por planta no cultivo após gramíneas (NG-G) e leguminosas (NG-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)					
	ALT-G	ALT-L	ICF-G	ICF-L	NG-G	NG-L
	----cm----				-----N° planta ⁻¹ -----	
Bloco	0,21ns	0,00**	0,01*	0,02*	0,07ns	0,62ns
Inoculação (I)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,75ns	0,16ns
Doses (D)	0,04*	0,03*	0,00**	0,00**	0,11ns	0,09ns
I*D	0,74ns	0,15ns	0,00**	0,00**	0,07ns	0,09ns
Linear	0,00**	0,47ns	0,00**	0,00**	0,01**	0,20ns
Quadrática	0,60ns	0,86ns	0,00**	0,00**	0,86ns	0,23ns
CV (%)	8,81	9,59	4,79	6,29	18,92	19,75
Inoculação						
Não inoculado	108,13 a	100,89 bc	55,46	54,24	97,70	82,41
<i>A. brasilense</i>	93,13 b	93,57 c	53,50	57,79	103,27	93,17
<i>B. subtilis</i>	107,63 a	109,64 a	52,61	54,90	103,48	84,19
<i>P. fluorescens</i>	112,84 a	102,60 ab	55,53	56,02	102,67	90,79
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	100,59	100,87	49,28	48,64	95,44	81,22
45	107,79	107,63	53,71	53,14	94,29	89,59
90	105,24	96,24	55,18	56,77	103,04	83,78
135	103,16	103,50	54,74	60,65	106,50	97,37
180	110,38	100,13	58,45	59,49	109,63	86,24
Média geral	105,43	101,68	54,27	55,74	101,78	87,64

ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

Não foi verificado efeito significativo ($p > 0,05$) das inoculações, doses de N e sua interação para o número de racemos (NR) em ambos os sistemas de cultivo e sobre a massa de 100 grãos (M100) quando cultivado após gramíneas. Porém, notou-se efeito significativo das inoculações sobre a M100 e a porcentagem de óleo (%O) após cultivo de leguminosas, e das doses de N sobre a %O após o cultivo de gramíneas (Tabela 2). A maior M100 foi observada

sob as inoculações com *B. subtilis* e *P. fluorescens* em relação ao serem inoculadas com *A. brasilense* no cultivo após leguminosas. Entretanto, a maior %O foi verificado sob o tratamento não inoculado em relação ao inoculado com *A. brasilense* após o cultivo com leguminosas (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância do número de racemos por planta após cultivo com gramíneas (NR-G) e leguminosas (NR-L), massa de 100 grãos no cultivo após gramíneas (M100-G) e leguminosas (M100-L), teor de óleo nos grãos por planta no cultivo após gramíneas (%O-G) e leguminosas (%O-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

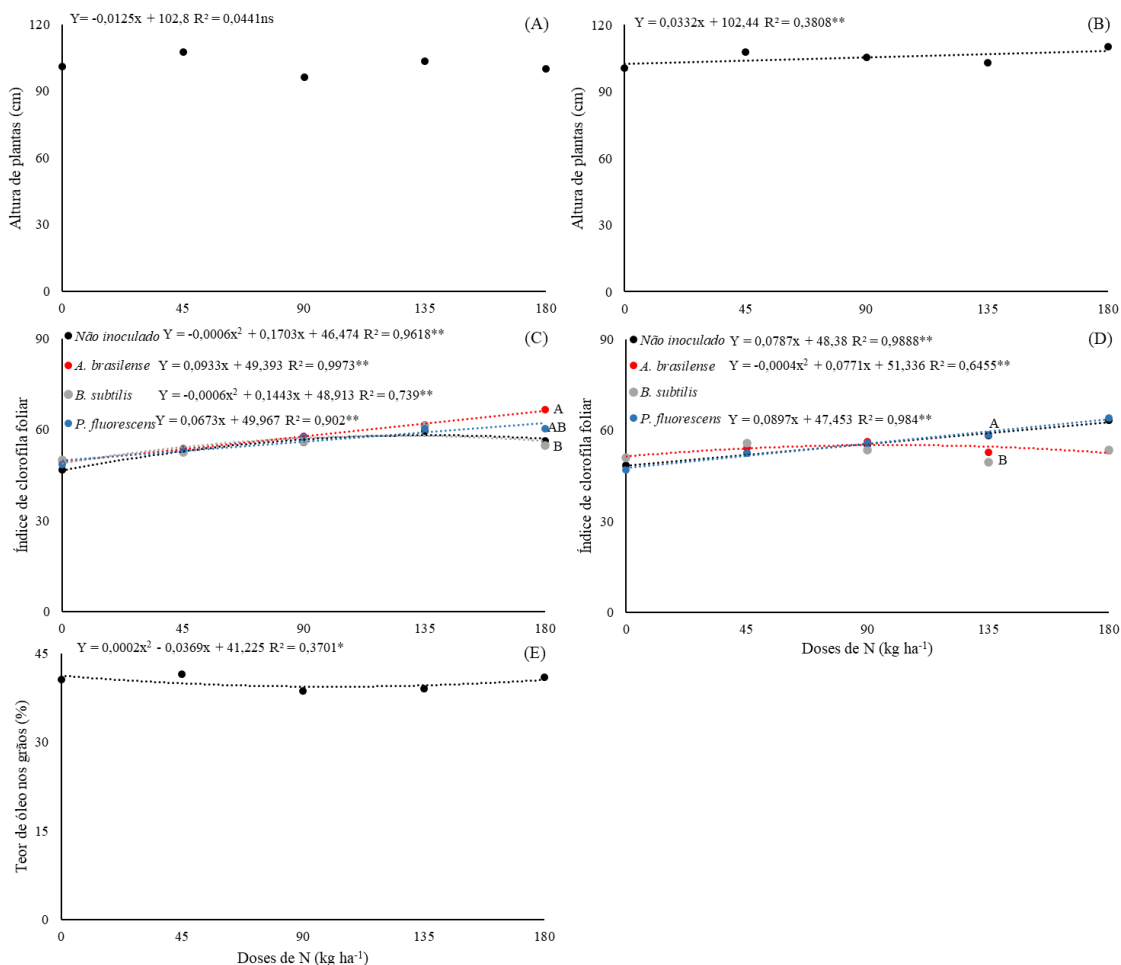
F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)					
	NR-G	NR-L	M100-G	M100-L	%O-G	%O-L
	-----N° planta ⁻¹ -----		-----g-----		-----%-----	
Bloco	0,03*	0,00**	0,05*	0,08ns	0,95ns	0,10ns
Inoculação (I)	0,86ns	0,89ns	0,06ns	0,01**	0,64ns	0,02*
Doses (D)	0,71ns	0,69ns	0,46ns	0,35ns	0,03*	0,81ns
I*D	0,32ns	0,21ns	0,19ns	0,06ns	0,94ns	0,59ns
Linear	0,50ns	0,99ns	0,19ns	0,07ns	0,45ns	0,49ns
Quadrática	0,30ns	0,23ns	0,95ns	0,62ns	0,05*	0,73ns
CV (%)	22,30	20,28	6,38	5,32	7,17	7,86
Inoculação						
Não inoculado	5,83	5,40	38,36	36,50 ab	40,16	40,32 a
<i>A. brasilense</i>	6,08	5,13	36,61	35,75 b	40,64	37,16 b
<i>B. subtilis</i>	6,00	5,27	37,22	37,56 a	39,48	39,06 ab
<i>P. fluorescens</i>	5,77	5,27	36,50	37,59 a	40,26	38,90 ab
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	5,87	5,17	36,45	36,33	40,57	39,20
45	6,15	5,21	37,30	36,79	41,47	39,03
90	5,94	5,44	37,39	36,37	38,70	38,86
135	6,10	5,50	36,80	37,24	38,97	38,69
180	5,54	5,02	37,93	37,51	40,96	38,52
Média geral	5,92	5,26	37,17	36,85	40,13	38,86

ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

Não houve ajuste linear e quadrático das médias de altura de plantas sob as doses de N após cultivo de gramíneas (Figura 2A); por outro lado, após o cultivo com leguminosas reportou-se aumento da altura de plantas com o aumento das doses de N fornecidas (Figura 2B). Foi verificado aumento linear do ICF com o incremento do fornecimento de N em cobertura sob a inoculação de *A. brasilense* e *P. fluorescens*. No tratamento não inoculado foi observado maior ICF sob a dose estimada de 141 kg ha⁻¹ de N, e na inoculação com *P. fluorescens* sob a dose de 120 kg ha⁻¹ de N. A inoculação com *A. brasilense* na dose de 180 kg ha⁻¹ de N proporcionou maior ICF em relação a inoculação com *B. subtilis* e o não inoculado cultivado após gramíneas (Figura 2C). Com o aumento das doses de N proporcionaram aumento do ICF sob o tratamento não inoculado e sob a inoculação com *P. fluorescens*, porém, sob a inoculação com *A. brasilense* foi observado maior ICF sob a dose estimada de 96 kg ha⁻¹ de N. A inoculação com *P. fluorescens* e o não inoculado proporcionaram os maiores ICF em relação

aos demais sob a dose de 135 e 180 kg ha⁻¹ de N no cultivo após leguminosas, respectivamente (Figura 2D). Houve uma redução da %O até a dose estimada de 92 kg ha⁻¹ de N e houve incremento da %O após esta dose de N (Figura 2E).

Figura 2. Efeito das doses de N sobre a altura de plantas após cultivo com gramíneas (A) e leguminosas (B) e sobre o teor de óleo de grãos (E) após gramíneas. Efeito das doses de N e das inoculações sobre o índice de clorofila foliar após gramíneas (C) e após leguminosas (D).



Constatou-se interação significativa ($p < 0,01$) das doses de N e das inoculações sobre a massa seca da palhada cultivada após gramíneas e leguminosas, sobre a produtividade de grãos (PG) e produtividade de óleo (PO) após cultivo de leguminosas. Foi observado maior PG sob a inoculação com *B. subtilis* em relação aos demais sob o cultivo após gramíneas, e a inoculação com *B. subtilis* e *A. brasilense* proporcionou maior PO em relação aos demais após o cultivo com gramíneas (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância da palhada da parte aérea após cultivo com gramíneas (PAL-G) e leguminosas (PAL-L), produtividade de grãos no cultivo após gramíneas (PG-G) e leguminosas (PG-L), produtividade de óleo nos grãos por planta no cultivo após gramíneas (PO-G) e leguminosas (PO-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)					
	PAL-G	PAL-L	PG-G	PG-L	PO-G	PO-L
	----cm----		-----kg ha ⁻¹ -----		-----N° planta ⁻¹ -----	
Bloco	0,24ns	0,28ns	0,19ns	0,22ns	0,32ns	0,09ns
Inoculação (I)	0,58ns	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Doses (D)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,01**	0,00**
I*D	0,00**	0,00**	0,23ns	0,00**	0,41ns	0,00**
Linear	0,00**	0,00**	0,02*	0,00**	0,13ns	0,00**
Quadrática	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
CV (%)	7,27	8,06	9,92	5,21	11,91	10,32
Inoculação						
Não inoculado	10586	10122	3339 d	3743	1340 c	1507
<i>A. brasilense</i>	10717	10971	4849 b	4413	1969 a	1638
<i>B. subtilis</i>	10870	11421	5397 a	4556	2127 a	1783
<i>P. fluorescens</i>	10567	9483	4214 c	4590	1693 b	1788
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	8812	8749	3999	3566	1621	1404
45	10974	9583	4440	4142	1842	1605
90	12070	11072	4886	4792	1887	1833
135	11424	12275	4563	4842	1779	1906
180	10147	10819	4361	4285	1780	1468
Média geral	10685	10499	4450	4325	1782	1679

ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

No tratamento controle verificou-se o aumento da massa seca da palhada conforme o incremento das doses de N em cobertura na mamona após cultivo de gramíneas, porém, sob as inoculações de *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um aumento da palhada até a dose estimada de 103, 99 e 63 kg ha⁻¹ de N com incremento de 63, 45 e 17% em relação a dose de 0 kg ha⁻¹ de N (Figura 3A). A inoculação com *P. fluorescens* proporcionou incremento de 23 e 28% na palhada em relação ao não inoculado nas doses de 0 e 45 kg ha⁻¹ de N, porém, na dose de 135 kg ha⁻¹ de N a inoculação com *A. brasilense* proporcionou aumento de 43% da palhada em relação a inoculação com *P. fluorescens* e na dose de 180 kg ha⁻¹ de N, a não inoculação promoveu maior palhada em relação aos demais (Figura 3A).

Observou-se o aumento da massa seca da palhada da mamona conforme o aumento das doses de N após cultivo de leguminosas sob a inoculação com *A. brasilense*, porém, quando não inoculado, inoculado com *B. subtilis* e com *P. fluorescens* houve um aumento da palhada até a dose estimada de 113, 85 e 160 kg ha⁻¹ de N com incremento de 42, 65 e 18% em relação a dose de 0 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 3B). A inoculação com *B. subtilis* proporcionou incremento de 26% na palhada em relação ao não inoculado nas doses de 135 kg ha⁻¹ de N, porém, na dose de 180 kg ha⁻¹ de N, a inoculação com *A. brasilense* e *B. subtilis*

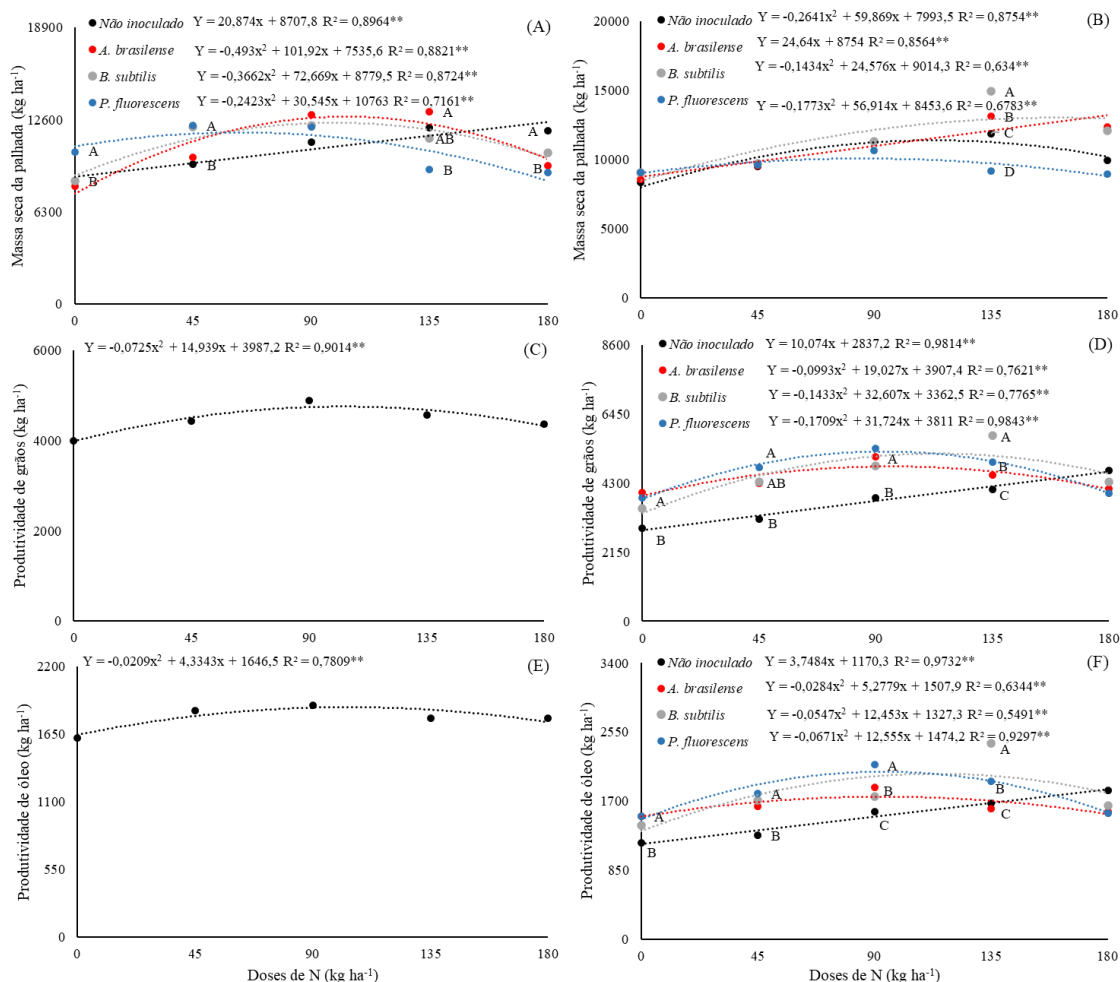
proporcionaram o aumento de 24 e 22% da palhada em relação a inoculação ao não inoculado, respectivamente (Figura 3B).

Foi observado aumento da produtividade de grãos e produtividade de óleo de 20 e 40% na dose estimada de 103 kg ha⁻¹ de N em relação a dose de 0 kg ha⁻¹ de N em cobertura após cultivo de gramíneas, respectivamente (Figuras 3C e 3E). Após o cultivo com leguminosas houve aumento da produtividade de grãos de mamona com o aumento das doses de N no tratamento não inoculado. Houve aumento de 28, 64 e 40% da produtividade de grãos nas doses estimadas de 97, 113 e 92 kg ha⁻¹ de N sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* em relação a dose de 0 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 3D).

As inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* proporcionaram aumento de 37, 21 e 33% na PG em relação ao não inoculado na dose de 0 kg de N, e na dose de 90 kg ha⁻¹ de N o aumento observado na PG foi de 33, 25 e 40% em relação ao não inoculado respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* proporcionou aumento de 41% na PG em relação ao não inoculado na dose de 135 kg ha⁻¹ de N, e na dose de 45 kg ha⁻¹ de N foi observado um aumento de 50% na PG sob a inoculação de *P. fluorescens* em relação ao não inoculado (Figura 3D).

As inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* promoveram aumento de 27, 18 e 27% na PO em relação ao não inoculado na dose de 0 kg ha⁻¹ de N, e na dose de 45 kg ha⁻¹ de N o aumento observado foi de 28, 34 e 41% em relação ao não inoculado respectivamente. A inoculação com *P. fluorescens* proporcionou aumento de 37% na PO em relação ao não inoculado na dose de 90 kg ha⁻¹ de N, e na dose de 135 kg ha⁻¹ de N foi observado aumento de 44% na PO sob inoculação com *B. subtilis* em relação ao não inoculado (Figura 3F). Foi observado aumento da PO com o aumento das doses de N sob o tratamento não inoculado, sob as inoculações de *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um aumento de 23, 72 e 55% na PO nas doses calculadas de 92, 64 e 93 kg ha⁻¹ de N em relação a dose 0 kg ha⁻¹ de N após cultivo com leguminosas, respectivamente (Figura 3F).

Figura 3. Efeito das doses de N sobre a produtividade de grãos (C) e produtividade de óleo (E) após cultivo com gramíneas. Efeito das doses de N e das inoculações sobre a massa seca da palhada após gramíneas (A) e após leguminosas (B), produtividade de grãos após leguminosas (D) e produtividade de óleo após leguminosas (F).



4.2. Efeitos das doses de N e inoculações sobre o acúmulo de nutrientes na palhada e atividade da enzima nitrato redutase

Foi verificado efeito significativo ($p < 0,01$) das doses de N, inoculações e a interação de ambos para o acúmulo de $N-NO_3^-$ e na atividade da enzima nitrato redutase foliar (NR) na palhada final da mamona cultivada após gramíneas e leguminosas. Houve efeito significativo ($p < 0,01$) das doses de N, inoculações e sua interação para acúmulo de amônio ($N-NH_4^+$) no cultivo após gramíneas. Por outro lado, no cultivo após leguminosas não se observou efeito significativo ($p > 0,05$) das inoculações e a interação dos fatores, e se constatou significativo ($p \leq 0,05$) para doses de N sobre o acúmulo de $N-NH_4^+$ (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância do acúmulo de N-NH₄⁺ (NH₄⁺), N-NO₃⁻ (NO₃⁻) na palhada final da mamona, atividade da enzima nitrato redutase foliar (NR) cultivada após gramíneas e leguminosas sob doses de N e inoculações de BPCPs cultivado após cultivo de gramíneas.

F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)					
	NO ₃ ⁻ kg ha ⁻¹	NH ₄ ⁺ kg ha ⁻¹	NR (μmol NO ₂ ⁻ g ⁻¹ h ⁻¹ de MF)	NO ₃ ⁻ kg ha ⁻¹	NH ₄ ⁺ kg ha ⁻¹	NR (μmol NO ₂ ⁻ g ⁻¹ h ⁻¹ de MF)
	Gramíneas			Leguminosas		
Bloco	0,06ns	0,06ns	0,86ns	0,41ns	0,31ns	0,76ns
Inoculação (I)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,37ns	0,00**
Doses (D)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,04*	0,00**
I*D	0,00**	0,00**	0,00**	0,00*	0,25ns	0,00**
Linear	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,02*	0,00**
Quadrática	0,01**	0,00**	0,00**	0,00**	0,04*	0,00**
CV	9,25	8,80	7,39	29,97	38,74	6,54
Inoculação						
Não inoculado	4,06	16,85	2,30	3,97	9,32	2,60
<i>A. brasilense</i>	3,74	8,95	5,36	6,25	11,25	6,61
<i>B. subtilis</i>	4,82	15,80	11,01	3,92	10,34	8,76
<i>P. fluorescens</i>	4,83	16,85	3,91	3,91	9,41	11,52
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	3,59	11,85	3,31	2,79	8,89	3,86
45	4,30	13,15	4,88	3,57	8,98	6,44
90	4,30	12,18	6,83	4,50	10,55	8,35
135	4,88	12,23	6,96	5,85	12,23	8,31
180	4,75	15,65	6,25	5,86	10,55	9,90
Média geral	4,36	13,01	5,64	4,51	10,08	7,37

ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

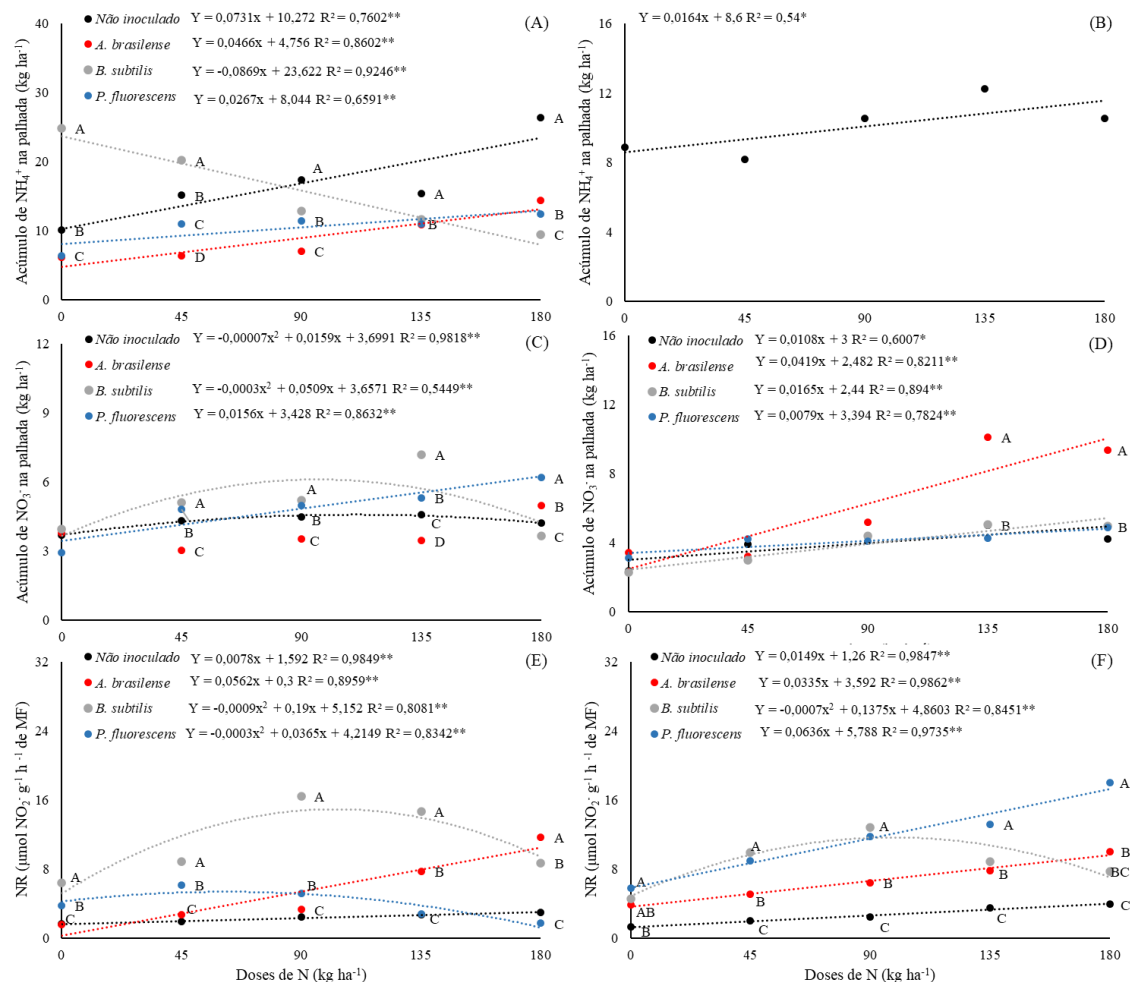
Constatou-se aumento do acúmulo de N-NH₄⁺ na palhada da mamona conforme houve o incremento das doses de N sob as inoculações com *A. brasilense*, *P. fluorescens* e a não inoculação. E o acúmulo de N-NH₄⁺ reduziu com o aumento do fornecimento de N sob a inoculação com *B. subtilis* cultivado após gramíneas (Figura 4A). Foi verificado o aumento do acúmulo de N-NH₄⁺ na palhada da mamona com o aumento do fornecimento de N em cobertura após o cultivo com leguminosas (Figura 4B). Houve o aumento do acúmulo de N-NO₃⁻ na palhada com o incremento das doses de N sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis*, *P. fluorescens* e o não inoculado no cultivo após leguminosas (Figura 4D). Sob a inoculação com *P. fluorescens* notou-se o aumento do acúmulo de N-NO₃⁻ na palhada com aumento das doses de N; no tratamento não inoculado e para a inoculação com *B. subtilis* foi verificado aumento de 24 e 81% no acúmulo de N-NO₃⁻ na palhada na dose estimada de 113 e 169 kg ha⁻¹ de N sob cultivo após gramíneas, respectivamente (Figura 4C).

A inoculação com *B. subtilis* proporcionou aumento de 146 e 33% no acúmulo de N-NH₄⁺ na palhada da mamona em comparação a não inoculação nas doses 0 e 45 kg ha⁻¹ de N,

respectivamente. Por outro lado, nas doses 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de N o tratamento não inoculado propiciou incremento de 51, 40 e 112% no acúmulo de N-NH₄⁺ na palhada em relação a inoculação com *B. subtilis* após o cultivo com gramíneas, respectivamente (Figura 4A). A inoculação com *B. subtilis* aumentou em 18, 16 e 56% o acúmulo de N-NO₃⁻ na palhada em relação ao não inoculado nas doses de 45, 90 e 135 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Na dose de 180 kg ha⁻¹ de N, a inoculação com *P. fluorescens* proporcionou um incremento de 47% no acúmulo de N-NO₃⁻ na palhada em relação ao não inoculado sob o cultivo após gramíneas (Figura 4C). A inoculação com *A. brasilense* propiciou um incremento de 101 e 122% no acúmulo de N-NO₃⁻ na palhada da mamona em comparação com o não inoculado nas doses de 135 e 180 kg ha⁻¹ de N respectivamente, após o cultivo com leguminosas (Figura 4D).

Foi verificado aumento da atividade da NR com o aumento das doses de N sob o tratamento não inoculado e inoculado com *A. brasilense*; porém, sob as inoculações com *B. subtilis* e *P. fluorescens* a maior atividade da NR foi observada nas doses calculadas de 105 e 60 kg ha⁻¹ de N respectivamente, após cultivo com gramíneas. Foi observado aumento de 300, 372, 585 e 452% na atividade da NR sob a inoculação com *B. subtilis* em relação ao não inoculado nas doses de 0, 45, 90 e 135 kg ha⁻¹ de N respectivamente, na dose de 180 kg ha⁻¹ de N foi observado aumento de 295% na atividade da NR foliar na mamona sob a inoculação com *A. brasilense* em relação ao não inoculado cultivado após gramíneas (Figura 4E). No cultivo após leguminosas houve o aumento da atividade da NR com o incremento das doses de N sob a não inoculação, inoculado com *A. brasilense* e *P. fluorescens*; sob a inoculação com *B. subtilis* foi observado maior atividade da NR na dose estimada de 98 kg ha⁻¹ de N no cultivo após leguminosas. A inoculação com *P. fluorescens* proporcionou aumento de 353, 280 e 363% na atividade da NR foliar em relação ao não inoculado sob as doses 0, 135 e 180 kg ha⁻¹ de N respectivamente, e nas doses de 45 e 90 kg ha⁻¹ de N foi observado aumento da atividade da NR foliar maior que 353 e 385% em relação ao não inoculado respectivamente, cultivado após o cultivo de leguminosas (Figura 4F).

Figura 4. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre o acúmulo de N-NH_4^+ após gramíneas (A) acúmulo de N-NO_3^- na palhada cultivados após gramíneas (C) e após leguminosas (D), atividade da NR após gramíneas (E) e após leguminosas (F). E o efeito das doses de N sobre o acúmulo de N-NH_4^+ após leguminosas (B).



Foi constatado efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de N e da interação entre as doses de N e as inoculações sobre os acúmulos de N, P e K na palhada da mamona cultivada após o cultivo com gramíneas e leguminosas, também foi observado efeito significativo ($p < 0,01$) das inoculações sobre o acúmulo de N após leguminosas, acúmulos de P e K na palhada após cultivo com leguminosas e gramíneas (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância do acúmulo de nitrogênio na palhada após cultivo com gramíneas (N-G) e leguminosas (N-L), do acúmulo de fósforo na palhada no cultivo após gramíneas (P-G) e leguminosas (P-L), do acúmulo de potássio na palhada no cultivo após gramíneas (K-G) e leguminosas (K-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)					
	N-G	N-L	P-G	P-L	K-G	K-L
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Bloco	0,47ns	0,59ns	0,57ns	0,70ns	0,13ns	0,21ns
Inoculação (I)	0,37ns	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Doses (D)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
I*D	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Linear	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,85ns	0,01**
Quadrática	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
CV (%)	7,88	9,47	9,34	11,21	12,21	12,07
Inoculação						
Não inoculado	638,3	610,5	61,07	58,42	181,4	173,7
<i>A. brasilense</i>	625,2	640,9	51,29	52,55	209,2	213,6
<i>B. subtilis</i>	643,4	676,7	55,28	58,10	187,2	195,5
<i>P. fluorescens</i>	618,4	556,1	53,83	48,35	188,6	170,8
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	505,8	504,9	44,94	44,78	152,6	152,9
45	649,2	566,9	56,58	49,54	197,1	172,5
90	712,6	654,1	63,73	58,62	214,6	196,6
135	681,1	732,4	60,26	64,53	207,9	221,9
180	607,9	646,9	51,35	54,31	185,9	198,2
Média geral	631,3	621,1	55,37	54,36	191,6	188,42

ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

Reportou-se aumento dos acúmulos de N, P e K na palhada da mamona conforme o incremento das doses de N em cobertura no tratamento não inoculado após o cultivo com gramíneas (Figuras 6A, 6C e 6E). Sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um incremento de 69, 44 e 30% no acúmulo de N na dose calculada de 99, 106 e 75 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de gramíneas, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* e *P. fluorescens* proporcionou maior acúmulo de N na palhada (26 e 25%) em relação ao não inoculado e a inoculação com *A. brasilense* na dose de 45 kg ha⁻¹ de N. Na dose de 180 kg ha⁻¹ de N, o tratamento não inoculado promoveu maior acúmulo de N na palhada em relação as demais inoculações, por outro lado, a inoculação com *A. brasilense* proporcionou aumento de 47% no acúmulo de N em relação ao ser inoculada com *P. fluorescens* na dose de 135 kg ha⁻¹ de N (Figura 5A).

Foi verificado incremento dos acúmulos de N, P e K na palhada da mamona após cultivo com leguminosas com aumento das doses de N sob a inoculação com *A. brasilense* (Figuras 6B, 5D e 5F). Houve aumento de 45, 67 e 32% do acúmulo de N na dose estimada de 118, 159 e 95 kg ha⁻¹ de N em cobertura sob o tratamento não inoculado, a inoculação com *B. subtilis* e *P. fluorescens*, respectivamente (Figura 5B). A inoculação com *B. subtilis* proporcionou aumento de 24% no acúmulo de N na palhada da mamona em relação ao não inoculado na dose

de 135 kg ha⁻¹ de N, porém na dose de 180 kg ha⁻¹ de N foi observado aumento de 21 e 18% no acúmulo de N sob as inoculações com *A. brasilense* e *B. subtilis* em relação ao não inoculado, respectivamente (Figura 5B).

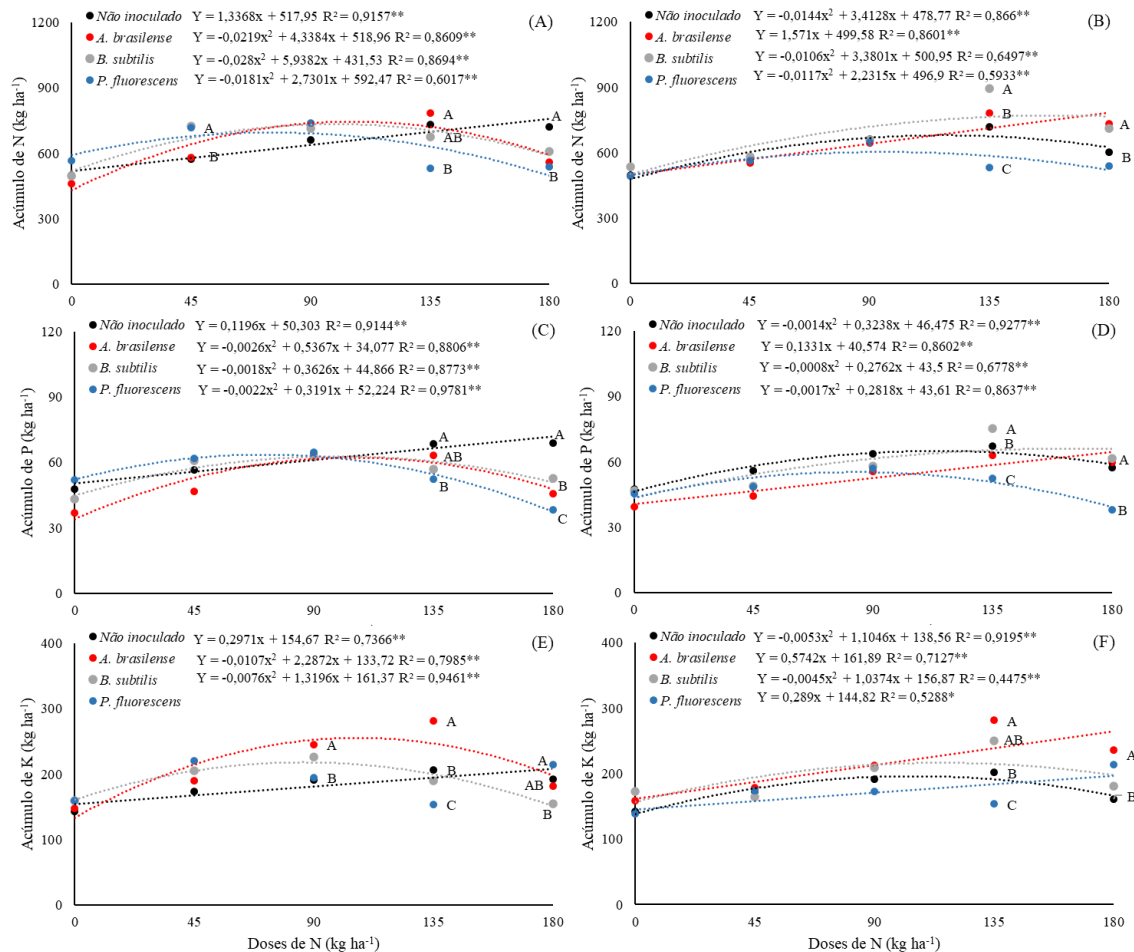
Nas inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* foi verificado um aumento de 73, 45 e 24% no acúmulo de P na palhada da mamona na dose estimada de 103, 100 e 72 kg ha⁻¹ de N em relação a dose 0 kg de N após cultivo com gramíneas, respectivamente (Figura 5C). O maior acúmulo de P na palhada (31 e 80%) foi observado sob o tratamento não inoculado nas doses de 135 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura em relação as inoculações com *P. fluorescens*, respectivamente (Figura 5C).

A inoculação com *B. subtilis* proporcionou aumento de 44% no acúmulo de P na palhada da mamona em comparação a inoculação com *P. fluorescens* na dose de 135 kg ha⁻¹ de N. Por outro lado, na dose de 180 kg ha⁻¹ de N o tratamento não inoculado, a inoculação com *B. subtilis* e *A. brasilense* propiciaram aumento de 51, 57 e 61% no acúmulo de P em relação a inoculação com *P. fluorescens*, respectivamente (Figura 5D). No tratamento não inoculado e nas inoculações com *B. subtilis* e *P. fluorescens* foi verificado um aumento de 41, 61 e 26% no acúmulo de P na palhada da mamona na dose estimada de 115, 172 e 82 kg ha⁻¹ de N em relação a dose 0 kg de N após cultivo com leguminosas, respectivamente (Figura 5D).

Nas inoculações com *A. brasilense* e *B. subtilis* foi constatado um aumento de 91 e 41% no acúmulo de K na palhada da mamona na dose estimada de 106 e 86 kg ha⁻¹ de N em relação a dose 0 kg de N após cultivo com gramíneas, respectivamente (Figura 5E). A inoculação com *A. brasilense* proporcionou aumento de 28 e 36% no acúmulo de K nas doses de 90 e 135 kg ha⁻¹ de N em comparação com a não inoculação respectivamente. Por outro lado, a inoculação com *P. fluorescens* propiciou aumento de 38% no acúmulo de K em relação a inoculação com *B. subtilis* na dose de 180 kg ha⁻¹ de N após cultivo com gramíneas (Figura 5E).

A inoculação com *A. brasilense* proporcionou aumento de 39% no acúmulo de K na palhada da mamona em comparação a inoculação com a não inoculação na dose de 135 kg ha⁻¹ de N após cultivo com leguminosas. Na dose de 180 kg ha⁻¹ de N a inoculação com *A. brasilense* e *P. fluorescens* promoveram um aumento de 46 e 32% no acúmulo de K em comparação com o não inoculado, respectivamente (Figura 5F). No tratamento não inoculado e nas inoculações com *B. subtilis* foi verificado um aumento de 41 e 45% no acúmulo de K na palhada da mamona na dose estimada de 104 e 115 kg ha⁻¹ de N em relação a dose 0 kg de N após cultivo com leguminosas, respectivamente; houve aumento do acúmulo de K na palhada conforme o aumento do fornecimento de N em cobertura sob a inoculação com *P. fluorescens* (Figura 5D).

Figura 5. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de N na palhada cultivados após gramíneas (A) e após leguminosas (B), acúmulo de P após gramíneas (C) e após leguminosas (D), acúmulo de K após gramíneas (E) e após leguminosas (F).



Foi verificado efeito significativo ($p < 0,01$) das doses de N, das inoculações e da interação entre ambos para os acúmulos de Ca, Mg e S na palhada da mamona após o cultivo com gramíneas e leguminosas (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância do acúmulo de cálcio na palhada após cultivo com gramíneas (Ca-G) e leguminosas (Ca-L), do acúmulo de magnésio na palhada no cultivo após gramíneas (Mg-G) e leguminosas (Mg-L), do acúmulo de enxofre na palhada no cultivo após gramíneas (S-G) e leguminosas (S-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)					
	Ca-G	Ca-L	Mg-G	Mg-L	S-G	S-L
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Bloco	0,27ns	0,92ns	0,04*	0,25ns	0,05*	0,02*
Inoculação (I)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Doses (D)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
I*D	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Linear	0,00**	0,00**	0,01**	0,00**	0,00**	0,01**
Quadrática	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
CV (%)	12,48	11,56	14,17	12,75	13,26	14,40
Inoculação						
Não inoculado	155,5	148,1	26,41	25,23	41,49	39,70
<i>A. brasilense</i>	191,7	194,2	41,81	42,24	41,87	42,75
<i>B. subtilis</i>	215,5	225,9	33,79	35,36	47,26	50,39
<i>P. fluorescens</i>	183,9	166,1	31,15	28,18	45,91	41,54
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	153,4	152,6	27,38	27,29	34,28	34,08
45	187,3	162,6	33,93	29,66	41,39	36,19
90	212,4	193,3	37,90	34,46	52,06	47,57
135	198,7	214,7	35,89	38,52	49,26	53,33
180	181,5	194,6	31,35	33,83	43,68	46,80
Média geral	186,68	183,56	33,29	32,75	44,13	43,59

ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

Foi observado aumento dos acúmulos de Ca, Mg e S na palhada da mamona conforme o aumento do fornecimento de N em cobertura após o cultivo com gramíneas (Figuras 6A, 6C e 6E). O acúmulo de Ca na palhada aumentou conforme o incremento das doses de N em cobertura sob a inoculação com *B. subtilis* e a não inoculação, o mesmo foi verificado para acúmulo de S sob a inoculação com *B. subtilis* no cultivo após leguminosas (Figuras 6B e 6F). Houve um aumento de 85 e 55% no acúmulo de Ca na palhada da mamona na dose estimada de 100 e 103 kg ha⁻¹ de N sob as inoculações com *A. brasilense* e *B. subtilis*, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* propiciou incremento de 62, 75 e 20% no acúmulo de Ca em comparação com a não inoculação nas doses de 45, 90 e 180 kg ha⁻¹ de N, respectivamente; porém, na dose de 135 kg ha⁻¹ de N a inoculação com *A. brasilense* proporcionou aumento de 39% no acúmulo de Ca na palhada em relação ao não inoculado após cultivo com gramíneas (Figura 6A).

Houve aumento de 68% no acúmulo de Ca na palhada na dose calculada de 131 kg ha⁻¹ de N sob a inoculação com *A. brasilense* no cultivo após leguminosas. A inoculação com *B. subtilis* proporcionou aumento de 31, 64 e 67% no acúmulo de Ca na palhada da mamona em comparação com a não inoculação nas doses de 45, 135 e 180 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Na dose de 90 kg ha⁻¹ de N as inoculações com *A. brasilense* e *B. subtilis* propiciaram um

incremento de 50 e 61% no acúmulo de Ca em relação ao não inoculado após o cultivo com leguminosas, respectivamente (Figura 6B).

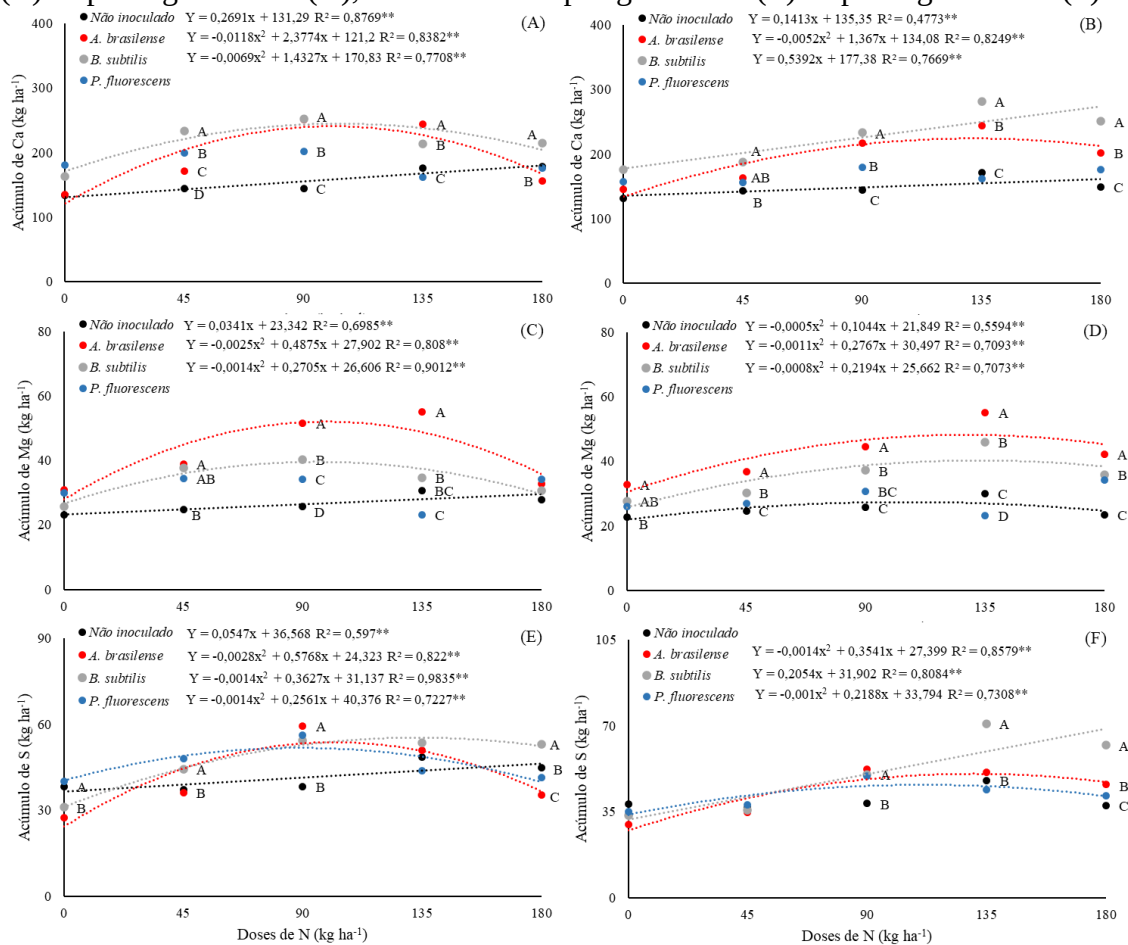
As inoculações com *A. brasilense* e *B. subtilis* proporcionaram aumento de 57 e 52% no acúmulo de Mg na palhada em comparação com a não inoculação na dose de 45 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Por outro lado, nas doses de 90 e 135 kg ha⁻¹ de N houve um aumento de 101 e 80% no acúmulo de Mg sob a inoculação com *A. brasilense* em relação ao não inoculado após cultivo com gramíneas, respectivamente. Foi verificado aumento de 78 e 57% no acúmulo de Mg na palhada da mamona nas doses estimadas de 97 e 96 kg ha⁻¹ de N em cobertura sob as inoculações com *A. brasilense* e *B. subtilis*, respectivamente (Figura 6C).

Houve aumento de 33, 67 e 65% no acúmulo de Mg na palhada na dose calculada de 104, 125 e 137 kg ha⁻¹ de N sob a inoculação com *A. brasilense*, *B. subtilis* e no não inoculado no cultivo após leguminosas, respectivamente. A inoculação com *A. brasilense* promoveu aumento de 45, 49, 73, 83 e 80% no acúmulo de Mg na palhada da mamona em comparação com a não inoculação nas doses de 0, 45, 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 6D).

As inoculações com *B. subtilis* e *P. fluorescens* proporcionaram aumento de 19 e 28% no acúmulo de S na palhada em comparação com a não inoculação na dose de 45 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Por outro lado, na dose de 90 kg ha⁻¹ de N notou-se um aumento de 55, 42 e 46% no acúmulo de S sob a inoculação com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* em relação ao não inoculado após cultivo com gramíneas, respectivamente. Foi verificado aumento de 116, 75 e 40% no acúmulo de S na palhada da mamona nas doses estimadas de 13, 129 e 91 kg ha⁻¹ de N em cobertura sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens*, respectivamente (Figura 6E).

Observou-se aumento de 76 e 41% no acúmulo de S na palhada da mamona na dose calculada de 126 e 109 kg ha⁻¹ de N sob a inoculação com *A. brasilense* e *P. fluorescens* no cultivo após leguminosas, respectivamente. A inoculação com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* proporcionou aumento de 36, 31 e 29% no acúmulo de S na palhada da mamona em comparação com a não inoculação na dose 90 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Contudo, a inoculação com *B. subtilis* propiciou aumento de 48 e 65% no acúmulo de S na palhada em relação ao não inoculado nas doses de 135 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura após o cultivo com leguminosas, respectivamente (Figura 6D).

Figura 6. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de Ca na palhada cultivados após gramíneas (A) e após leguminosas (B), acúmulo de Mg após gramíneas (C) e após leguminosas (D), acúmulo de S após gramíneas (E) e após leguminosas (F).



Reportou-se efeito significativo ($p < 0,01$) das doses de N para o acúmulo de B na palhada de mamona cultivada após gramíneas e leguminosas, e acúmulo de Fe após gramíneas e significativo a 5% para o acúmulo de Fe após leguminosas. Houve efeito significativo das inoculações sobre os acúmulos de Cu e Fe na palhada após leguminosas e gramíneas e de B após leguminosas, foi verificado efeito significativo da interação entre doses de N e inoculações para acúmulo de B na palhada após cultivo com gramíneas e leguminosas (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância do acúmulo de boro na palhada após cultivo com gramíneas (B-G) e leguminosas (B-L), do acúmulo de cobre na palhada no cultivo após gramíneas (Cu-G) e leguminosas (Cu-L), do acúmulo de ferro na palhada no cultivo após gramíneas (Fe-G) e leguminosas (Fe-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

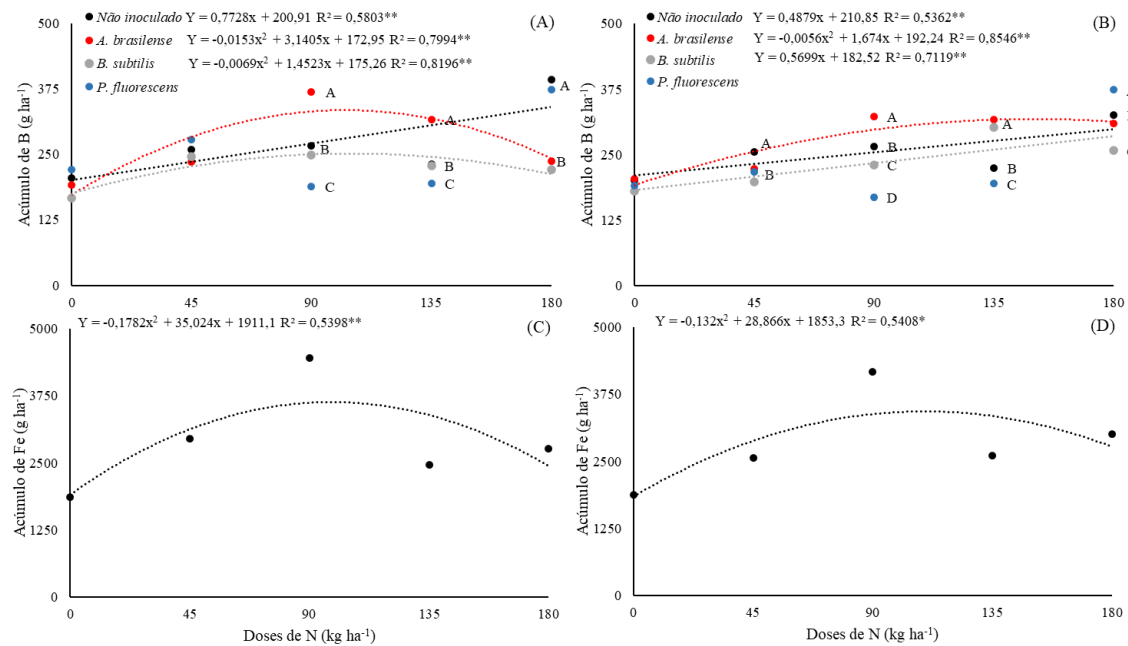
F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)					
	B-G	B-L	Cu-G	Cu-L	Fe-G	Fe-L
	-----g ha ⁻¹ -----					
Bloco	0,53ns	0,23ns	0,39ns	0,25ns	0,61ns	0,59ns
Inoculação (I)	0,12ns	0,00**	0,00**	0,00**	0,03*	0,01**
Doses (D)	0,00**	0,00**	0,89ns	0,48ns	0,00**	0,02*
I*D	0,00**	0,03*	0,15ns	0,52ns	0,11ns	0,10ns
Linear	0,00**	0,00**	0,33ns	0,08ns	0,9ns	0,13ns
Quadrática	0,66ns	0,44ns	0,93ns	0,62ns	0,00**	0,04*
CV (%)	28,23	25,28	64,33	62,30	66,84	67,13
Inoculação						
Não inoculado	270,4	254,8	428,9 a	398,9 a	2972 ab	2863 ab
<i>A. brasilense</i>	269,7	275,2	478,2 a	489,1 a	3924 a	3968 a
<i>B. subtilis</i>	221,8	233,8	96,8 b	101,9 b	2660 ab	2708 ab
<i>P. fluorescens</i>	251,2	228,9	579,6 a	516,7 a	2034 b	1850 b
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	195,8	194,5	352,4	329,2	1863	1879
45	254,1	223,5	391,4	336,5	2943	2572
90	268,1	246,9	381,9	346,0	4454	4164
135	242,6	259,4	412,2	421,7	2460	2615
180	305,9	316,6	441,4	449,9	2767	3007
Média geral	253,3	248,2	395,9	376,7	2897	2847

ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

Foi observado aumento do acúmulo de B conforme o incremento das doses de N em cobertura no tratamento não inoculado após o cultivo com gramíneas (Figura 7A). No cultivo após leguminosas houve o aumento do acúmulo de B conforme o aumento do fornecimento de N quando inoculado com *B. subtilis* e não inoculado (Figura 7B). Foi verificado aumento de 93 e 49% no acúmulo de B nas doses estimadas de 102 e 105 kg ha⁻¹ de N sob as inoculações com *A. brasilense* e *B. subtilis* no cultivo após gramíneas, respectivamente. A inoculação com *A. brasilense* nas doses de 90 e 135 kg ha⁻¹ de N propiciaram um incremento de 39 e 37% no acúmulo de B na palhada da mamona em relação ao não inoculado. Por outro lado, na dose de 180 kg ha⁻¹ de N o não inoculado e a inoculação com *P. fluorescens* tiveram maior acúmulo de B (77 e 69%) em relação a inoculação com *B. subtilis* no cultivo após gramíneas, respectivamente (Figura 7A).

Houve um incremento do acúmulo de Fe na palhada da mamona de 139 e 121% nas doses estimadas de 98 e 109 kg ha⁻¹ de N em cobertura após o cultivo com gramíneas e leguminosas, respectivamente (Figuras 7C e 7D).

Figura 7. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de B na palhada cultivados após gramíneas (A) e após leguminosas (B), e efeito das doses de N sobre o acúmulo de Fe na palhada após gramíneas (C) e após leguminosas (D).



Constatou-se efeito significativo ($p < 0,01$) das doses de N e inoculações sobre os acúmulos de Mn e Zn na palhada da mamona cultivada após gramíneas e leguminosas, houve efeito significativo ($p < 0,01$) da interação entre as doses de N e as inoculações sobre o acúmulo de Mn após cultivo de gramíneas e leguminosas e acúmulo de Zn após cultivo com gramíneas (Tabela 8).

Tabela 8. Resumo da análise de variância do acúmulo de manganês na palhada após cultivo com gramíneas (Mn-G) e leguminosas (Mn-L), do acúmulo de zinco na palhada no cultivo após gramíneas (Zn-G) e leguminosas (Zn-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)			
	Mn-G	Mn-L	Zn-G	Zn-L
	-----g ha ⁻¹ -----			
Bloco	0,63ns	0,90ns	0,45ns	0,23ns
Inoculação (I)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Doses (D)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
I*D	0,00**	0,00**	0,00**	0,11ns
Linear	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Quadrática	0,00**	0,09ns	0,00**	0,00**
CV (%)	17,74	13,33	16,58	16,79
Inoculação				
Não inoculado	1483	1407	325,2	311,4 b
<i>A. brasilense</i>	1692	1733	381,2	390,6 a
<i>B. subtilis</i>	1972	2060	324,8	338,0 b
<i>P. fluorescens</i>	1947	1760	348,2	313,8 b
Doses de N (kg ha ⁻¹)				
0	1294	1279	268,6	268,3
45	1789	1552	368,0	320,4
90	1849	1671	387,7	354,5
135	2024	2174	366,4	389,5
180	1913	2023	333,6	359,6
Média geral	1774	1740	344,8	338,5

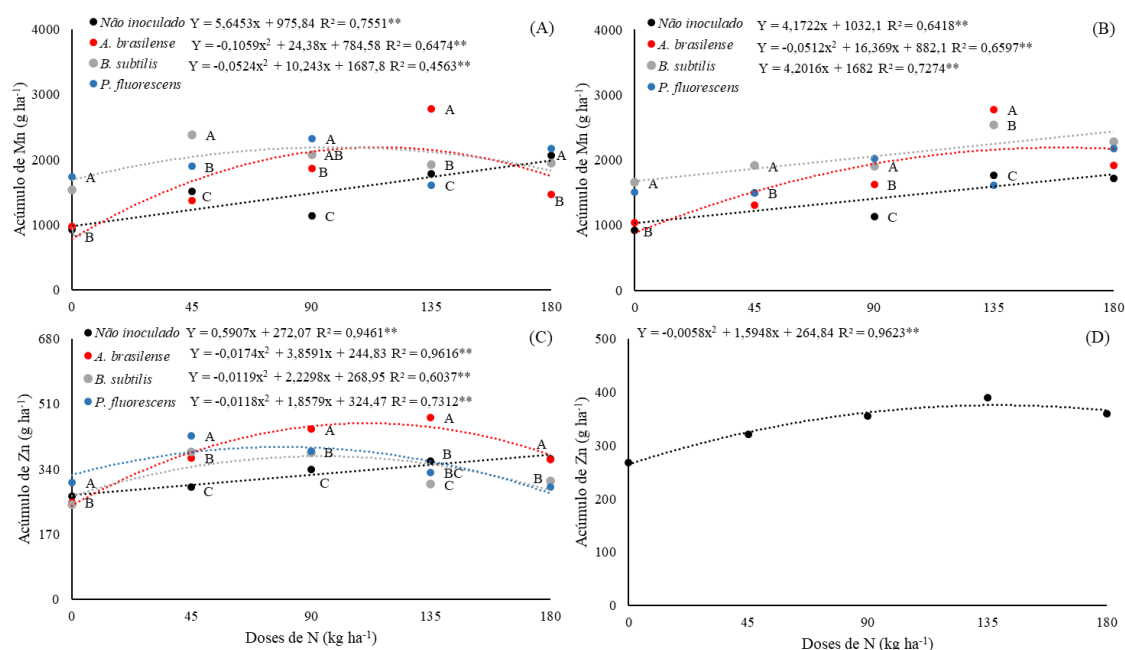
ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

Notou-se aumento dos acúmulos de Mn e Zn na palhada da mamona com o incremento das doses de N no tratamento não inoculado sob o cultivo após gramíneas (Figuras 9A e 9C). Foi verificado aumento de 185 e 55% do acúmulo de Mn na palhada nas doses estimadas de 115 e 69 kg ha⁻¹ de N sob as inoculações com *A. brasilense* e *B. subtilis* cultivado após gramíneas, respectivamente (Figura 9A). Sob a inoculação com *B. subtilis* e não inoculado houve o aumento do acúmulo de Mn com o aumento das doses de N, foi observado aumento de 168% no acúmulo de Mn na palhada da mamona sob a inoculação com *A. brasilense* na dose estimada de 132 kg ha⁻¹ de N em relação a dose 0 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de leguminosas (Figura 9B). Foi verificado incremento de 87, 55 e 40% no acúmulo de Zn na palhada da mamona nas doses estimadas de 110, 93 e 78 kg ha⁻¹ de N sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* respectivamente, cultivado após gramíneas (Figura 9C). Foi observado aumento de 45% no acúmulo de Zn na palhada com a dose calculada de 103 kg ha⁻¹ de N cultivado após leguminosas (Figura 9D).

A inoculação com *B. subtilis* e *P. fluorescens* proporcionou aumento de 65 e 86% no acúmulo de Mn em relação ao controle na dose de 0 kg ha⁻¹ de N, na dose de 45 kg ha⁻¹ de N foi observado aumento de 58% no acúmulo de Mn sob inoculação com *P. fluorescens* em comparação com o não inoculado; porém, na dose de 90 e 135 kg ha⁻¹ de N foi verificado incremento de 105 e 56% inoculado com *P. fluorescens* e *A. brasilense* em relação ao não

inoculado, respectivamente cultivado após gramíneas (Figura 8A). Sob a inoculação com *B. subtilis* e *P. fluorescens* foi verificado incremento de 80 e 64% no acúmulo de Mn na palhada na dose de 0 kg ha⁻¹ de N, 68 e 78% na dose de 90 kg ha⁻¹ de N e 32 e 26% na dose de 180 kg ha⁻¹ de N em relação a não inoculação, respectivamente (Figura 8B). A inoculação com *P. fluorescens* proporcionou incremento de 13 e 46% no acúmulo de Zn na palhada da mamona em relação ao não inoculado nas doses de 0 e 45 kg ha⁻¹ de N respectivamente. Por outro lado, nas doses de 90 e 135 kg ha⁻¹ de N foi observado aumento de 31 e 31% no acúmulo de Zn em relação ao não inoculado, respectivamente (Figura 8C).

Figura 8. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de Mn na palhada cultivados após gramíneas (A) e após leguminosas (B), sob o acúmulo de Zn na palhada após gramíneas (C), e efeito das doses de N sobre o acúmulo de Zn na palhada após leguminosas (D).



4.3. Efeitos das doses de N e inoculações sobre o acúmulo de nutrientes nos grãos

Verificou-se efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de N e da interação entre as doses de N ($P < 0,05$) sobre os acúmulos de N, P e K nos grãos de mamona após o cultivo com gramíneas. Nas inoculações sobre os acúmulos de N, P e K após o cultivo com gramíneas e leguminosas foi observado efeito significativo ($p < 0,01$) das inoculações sobre o acúmulo de N após leguminosas, acúmulo de P e K nos grãos da mamona após cultivo com leguminosas e gramíneas (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise de variância do acúmulo de nitrogênio nos grãos após cultivo com gramíneas (N-G) e leguminosas (N-L), do acúmulo de fósforo nos grãos no cultivo após gramíneas (P-G) e leguminosas (P-L), do acúmulo de potássio nos grãos no cultivo após gramíneas (K-G) e leguminosas (K-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)					
	N-G	N-L	P-G	P-L	K-G	K-L
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Bloco	0,11ns	0,85ns	0,21ns	0,63ns	0,14ns	0,41ns
Inoculação (I)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Doses (D)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
I*D	0,04*	0,00**	0,15ns	0,00**	0,12ns	0,00**
Linear	0,00**	0,00**	0,06ns	0,00**	0,02*	0,00**
Quadrática	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
CV (%)	11,24	7,94	10,53	7,60	10,79	6,95
Inoculação						
Não inoculado	167,2	194,9	36,70 c	40,18	28,76 c	31,28
<i>A. brasilense</i>	248,7	220,2	53,93 a	47,61	44,07 a	41,69
<i>B. subtilis</i>	273,4	228,6	57,89 a	47,90	46,99 a	39,24
<i>P. fluorescens</i>	208,5	233,1	46,85 b	49,53	36,75 b	38,99
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	195,2	176,9	43,77	39,04	34,75	31,65
45	216,5	207,3	49,38	43,80	39,72	34,90
90	248,5	240,9	54,33	50,77	43,09	41,31
135	232,8	253,6	48,70	52,21	39,22	42,94
180	229,2	217,3	48,03	45,70	38,93	38,20
Média geral	224,4	219,21	48,84	46,30	39,15	37,80

ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

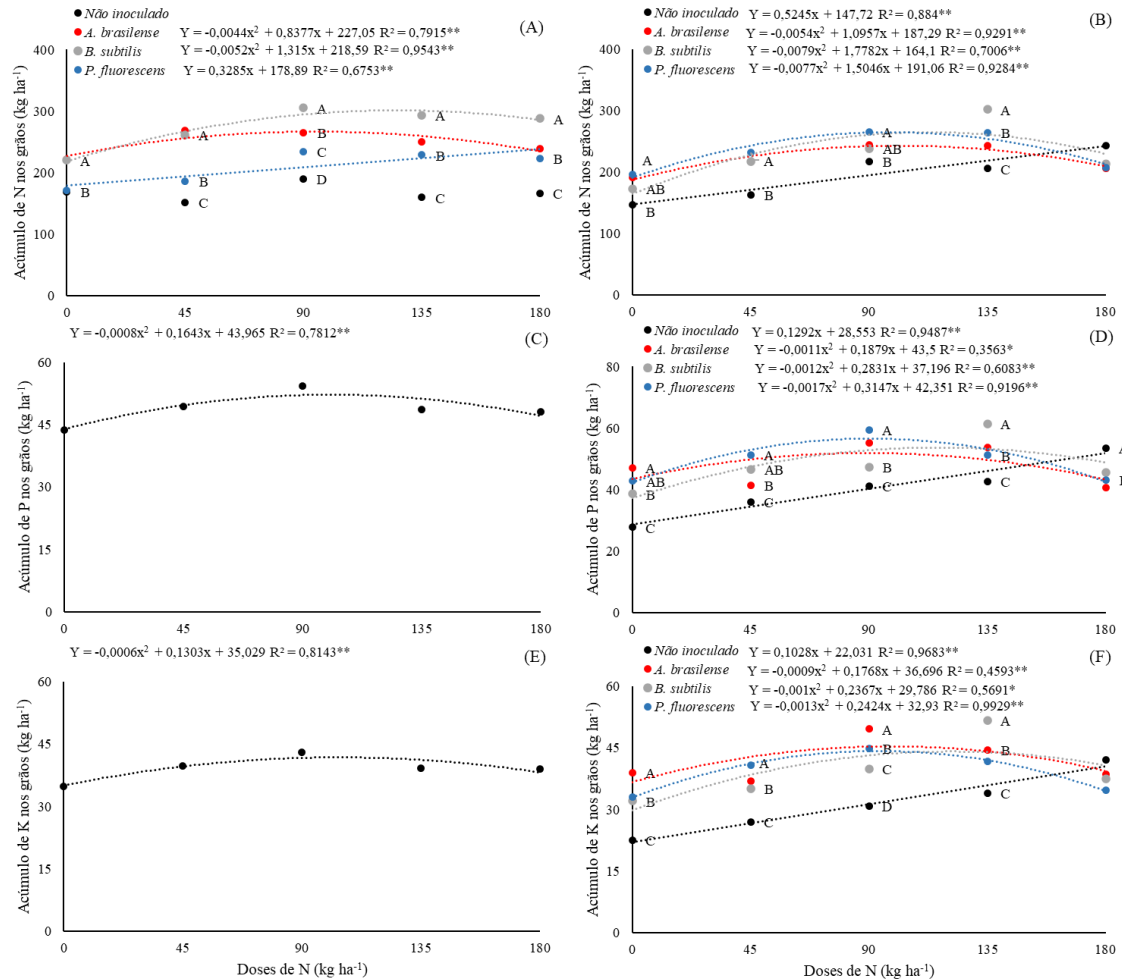
Sob as inoculações com *A. brasilense* e *B. subtilis* houve um incremento de 21 e 39% no acúmulo de N nos grãos na dose calculada de 95 e 126 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de gramíneas, respectivamente; e houve aumento linear do acúmulo de N com o aumento das doses de N inoculado com *P. fluorescens*. A inoculação com *B. subtilis* e *A. brasilense* proporcionou maior acúmulo de N nos grãos (39 e 60%) em relação ao não inoculado na dose de 45 kg ha⁻¹ de N, por outro lado, a inoculação com *B. subtilis* propiciou incremento de 60, 83 e 73% no acúmulo de N em relação ao não inoculado nas doses de 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de N, respectivamente cultivados após gramíneas (Figura 9A).

Houve o aumento do acúmulo de N nos grãos da mamona conforme o aumento das doses de N após cultivo de leguminosas sob o tratamento não inoculado, porém, com as inoculações de *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* observou-se um aumento do acúmulo de N até a dose estimada de 101, 112 e 98 kg ha⁻¹ de N com incremento de 27, 37 e 35% em relação a dose de 0 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 9B). A inoculação com *P. fluorescens* proporcionou incremento de 22% no acúmulo de N nos grãos em relação ao não inoculado na dose de 90 kg ha⁻¹ de N, porém, na dose de 135 kg ha⁻¹ de N a inoculação *B. subtilis* proporcionou o aumento de 47% no acúmulo de N dos grãos em relação ao não inoculado após leguminosas (Figura 9B).

Verificou-se um incremento do acúmulo de P nos grãos até a dose estimada de 103 kg ha⁻¹ de N no cultivo após gramíneas (Figura 9C). Após o cultivo com leguminosas houve aumento do acúmulo de P nos grãos de mamona com o aumento das doses de N no tratamento não inoculado. Observou-se aumento de 17, 59 e 39% no acúmulo de P nos grãos nas doses estimadas de 85, 118 e 93 kg ha⁻¹ de N sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* em relação a dose de 0 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Figura 9D).

Notou-se um incremento do acúmulo de K nos grãos até a dose estimada de 109 kg ha⁻¹ de N no cultivo após gramíneas (Figura 9E). As inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* promoveram aumento de 73, 42 e 47% no acúmulo de K nos grãos após leguminosas em relação ao não inoculado na dose de 0 kg ha⁻¹ de N, respectivamente; e na dose de 90 kg ha⁻¹ de N o aumento observado foi de 61% inoculado com *A. brasilense* em relação ao não inoculado (Figura 9F). Houve o aumento do acúmulo de K nos grãos da mamona conforme o aumento das doses de N após cultivo de leguminosas sob o tratamento não inoculado, sob as inoculações de *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um aumento de 27, 61 e 36% no acúmulo de K nos grãos nas doses calculadas de 98, 118 e 93 kg ha⁻¹ de N em relação a dose 0 kg ha⁻¹ de N, respectivamente após cultivo com leguminosas (Figura 9F).

Figura 9. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de N nos grãos cultivados após gramíneas (A) e após leguminosas (B), acúmulo de P nos grãos após leguminosas (D) e acúmulo de K nos grãos após leguminosas (F). Efeito das doses de N sobre o acúmulo de P nos grãos após gramíneas (C) e sobre o acúmulo de K após gramíneas (E).



Constatou-se efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de N e da interação entre as doses de N ($P < 0,01$) após o cultivo com leguminosas. As inoculações sobre o acúmulo de Ca, Mg e S após o cultivo com gramíneas e leguminosas, foi observado efeito significativo ($p < 0,01$) das inoculações sobre o acúmulo de Ca após leguminosas, acúmulos de Mg e S nos grãos após cultivo com leguminosas (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo da análise de variância do acúmulo de cálcio nos grãos após cultivo com gramíneas (Ca-G) e leguminosas (Ca-L), do acúmulo de magnésio nos grãos no cultivo após gramíneas (Mg-G) e leguminosas (Mg-L), do acúmulo de enxofre nos grãos no cultivo após gramíneas (S-G) e leguminosas (S-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)					
	Ca-G	Ca-L	Mg-G	Mg-L	S-G	S-L
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Bloco	0,49ns	0,58ns	0,16ns	0,57ns	0,73ns	0,47ns
Inoculação (I)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Doses (D)	0,61ns	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
I*D	0,46ns	0,00**	0,07ns	0,00**	0,21ns	0,00**
Linear	0,79ns	0,08ns	0,12ns	0,00**	0,02*	0,01**
Quadrática	0,15ns	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
CV (%)	15,99	11,60	10,61	7,39	18,23	11,80
Inoculação						
Não inoculado	7,81 c	7,30	17,24 c	20,14	16,81 b	15,34
<i>A. brasilense</i>	11,09 a	11,38	25,36 a	23,59	16,66 b	17,75
<i>B. subtilis</i>	12,19 a	10,40	26,40 a	25,79	23,39 a	17,33-
<i>P. fluorescens</i>	9,37 b	7,54	21,92 b	23,20	19,03 b	18,31
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	9,80	7,91	20,33	19,18	15,99	14,03
45	10,51	9,18	23,45	22,47	18,93	15,50
90	10,24	10,64	25,00	24,75	21,55	18,71
135	10,29	9,61	22,60	26,06	19,39	19,90
180	9,74	8,44	22,27	23,45	18,99	17,77
Média geral	10,12	9,15	22,73	23,18	18,97	17,18

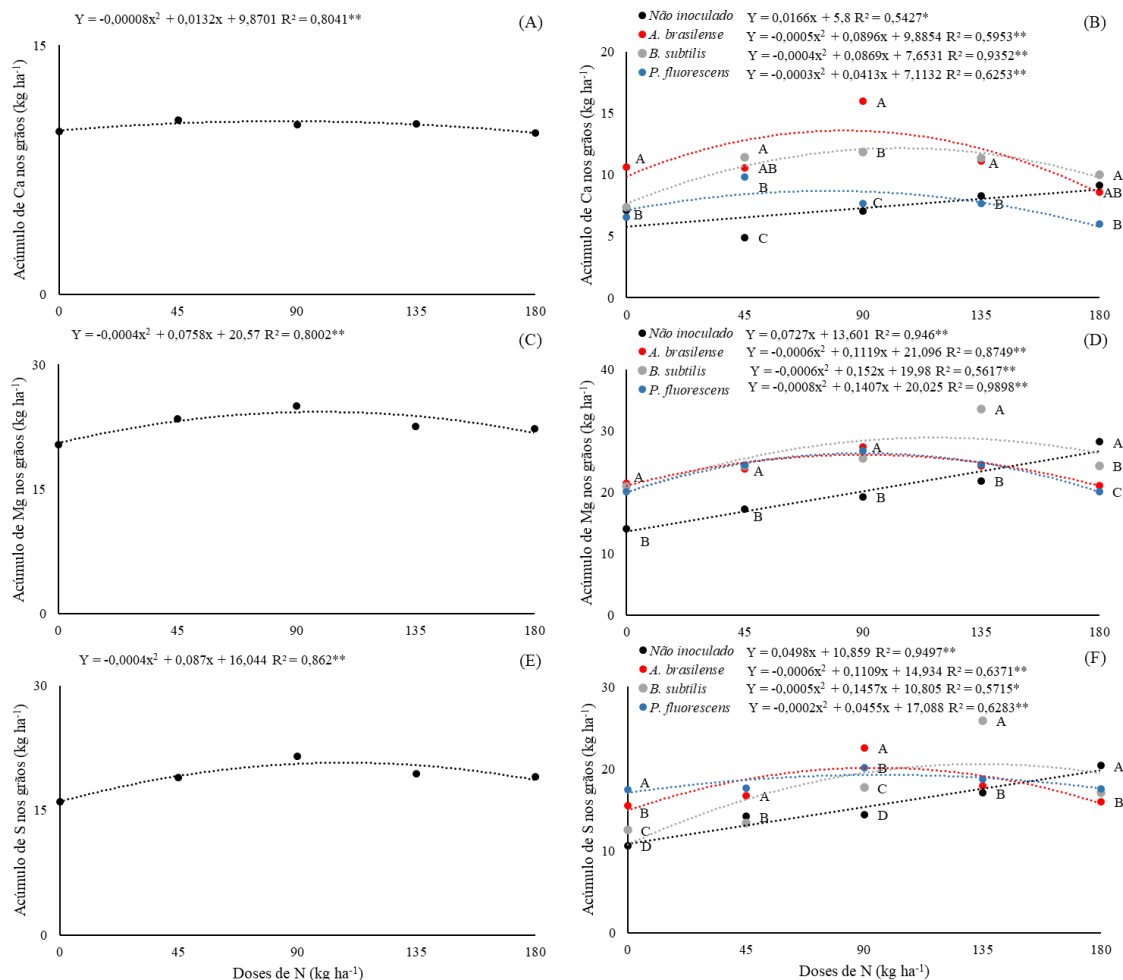
ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

Reportou-se um incremento do acúmulo de Ca nos grãos até a dose estimada de 83 kg ha⁻¹ de N e verificou-se redução do acúmulo de Ca após esta dose no cultivo após gramíneas (Figura 10A). Houve o aumento do acúmulo de Ca nos grãos da mamona conforme o aumento das doses de N após cultivo de leguminosas sob o tratamento não inoculado. Sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um incremento de no acúmulo de Ca na dose calculada de 90, 109 e 69 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de 51, 61 e 49% leguminosas, respectivamente. A inoculação com *A. brasilense* proporcionou aumento do acúmulo de Ca nos grãos de 126% em relação ao não inoculado na dose de 90 kg ha⁻¹ de N (Figura 10B).

Houve um incremento no acúmulo de Mg nos grãos até a dose estimada de 95 kg ha⁻¹ de N e houve redução do acúmulo de Mg após esta dose no cultivo após gramíneas (Figura 10C). Constatou-se o aumento do acúmulo de Mg nos grãos da mamona conforme o aumento das doses de N após cultivo de leguminosas sob o tratamento não inoculado. Com as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um incremento de 28, 60 e 33% no acúmulo de Mg na dose calculada de 93, 127 e 88 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de leguminosas, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* proporcionou incremento de 54% acúmulo de Mg nos grãos em relação ao não inoculado na dose de 135 kg ha⁻¹ de N (Figura 10D).

Constatou-se um incremento no acúmulo de S nos grãos até a dose estimada de 109 kg ha⁻¹ de N e houve redução do acúmulo de Mg após esta dose no cultivo após gramíneas (Figura 11E). Houve o aumento do acúmulo de S nos grãos da mamona conforme o aumento das doses de N após cultivo de leguminosas sob o tratamento não inoculado. Sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um incremento de 45, 106 e 15% no acúmulo de S na dose calculada de 92, 146 e 114 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de leguminosas, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* proporcionou maior acúmulo de S nos grãos (52%) em relação ao não inoculado na dose de 135 kg ha⁻¹ de N (Figura 10F).

Figura 10. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de Ca nos grãos (B), acúmulo de Mg nos grãos (D) e acúmulo de S nos grãos (F) cultivados após leguminosas. Efeito das doses de N sobre o acúmulo de Ca nos grãos (A) acúmulo de Mg nos grãos (C) e acúmulo de S nos grãos (E) após cultivo com gramíneas.



Foi verificado efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de N ($P < 0,01$) após o cultivo com leguminosas e gramíneas. As inoculações sobre os acúmulos de B, Cu e Fe nos grãos de mamona após o cultivo com gramíneas e leguminosas, foi observado efeito significativo ($p < 0,01$) das inoculações sobre o acúmulo de B após leguminosas, acúmulo de Cu após gramíneas e acúmulo de Fe nos grãos após cultivo com gramíneas e leguminosas (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo da análise de variância do acúmulo de boro nos grãos após cultivo com gramíneas (B-G) e leguminosas (B-L), do acúmulo de cobre nos grãos no cultivo após gramíneas (Cu-G) e leguminosas (Cu-L), do acúmulo de ferro nos grãos no cultivo após gramíneas (Fe-G) e leguminosas (Fe-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)					
	B-G	B-L	Cu-G	Cu-L	Fe-G	Fe-L
	-----g ha ⁻¹ -----					
Bloco	0,00**	0,27ns	0,33ns	0,71ns	0,18ns	0,81ns
Inoculação (I)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Doses (D)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
I*D	0,02*	0,00**	0,00**	0,09ns	0,00**	0,00**
Linear	0,06ns	0,00**	0,00**	0,00**	0,31ns	0,01**
Quadrática	0,00**	0,00**	0,00**	0,00*	0,00**	0,00**
CV (%)	13,50	14,40	11,72	32,39	28,90	15,94
Inoculação						
Não inoculado	39,05	70,30	65,64	77,9 b	383,9	360,9
<i>A. brasilense</i>	87,78	65,40	83,04	112,8 a	696,3	516,1
<i>B. subtilis</i>	82,49	99,95	108,09	115,1 a	569,6	433,9
<i>P. fluorescens</i>	57,32	86,04	82,11	108,6 a	386,0	379,1
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
0	58,06	65,98	71,93	77,69	393,7	326,8
45	67,09	80,24	81,41	97,09	720,6	390,5
90	74,15	90,95	97,99	109,76	488,2	451,1
135	71,32	85,34	89,04	132,39	496,7	541,6
180	62,69	79,61	83,24	101,14	445,7	402,6
Média geral	66,66	80,42	395,9	103,6	508,9	422,5

ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

Houve uma redução do acúmulo de B nos grãos da mamona conforme o incremento das doses de N após cultivo de leguminosas sob o tratamento não inoculado. Sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um incremento de 21, 53 e 39% no acúmulo de B na dose calculada de 100, 107 e 109 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de gramíneas, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* proporcionou maior acúmulo de B nos grãos (53%) em relação ao não inoculado na dose de 90 kg ha⁻¹ de N (Figura 11A).

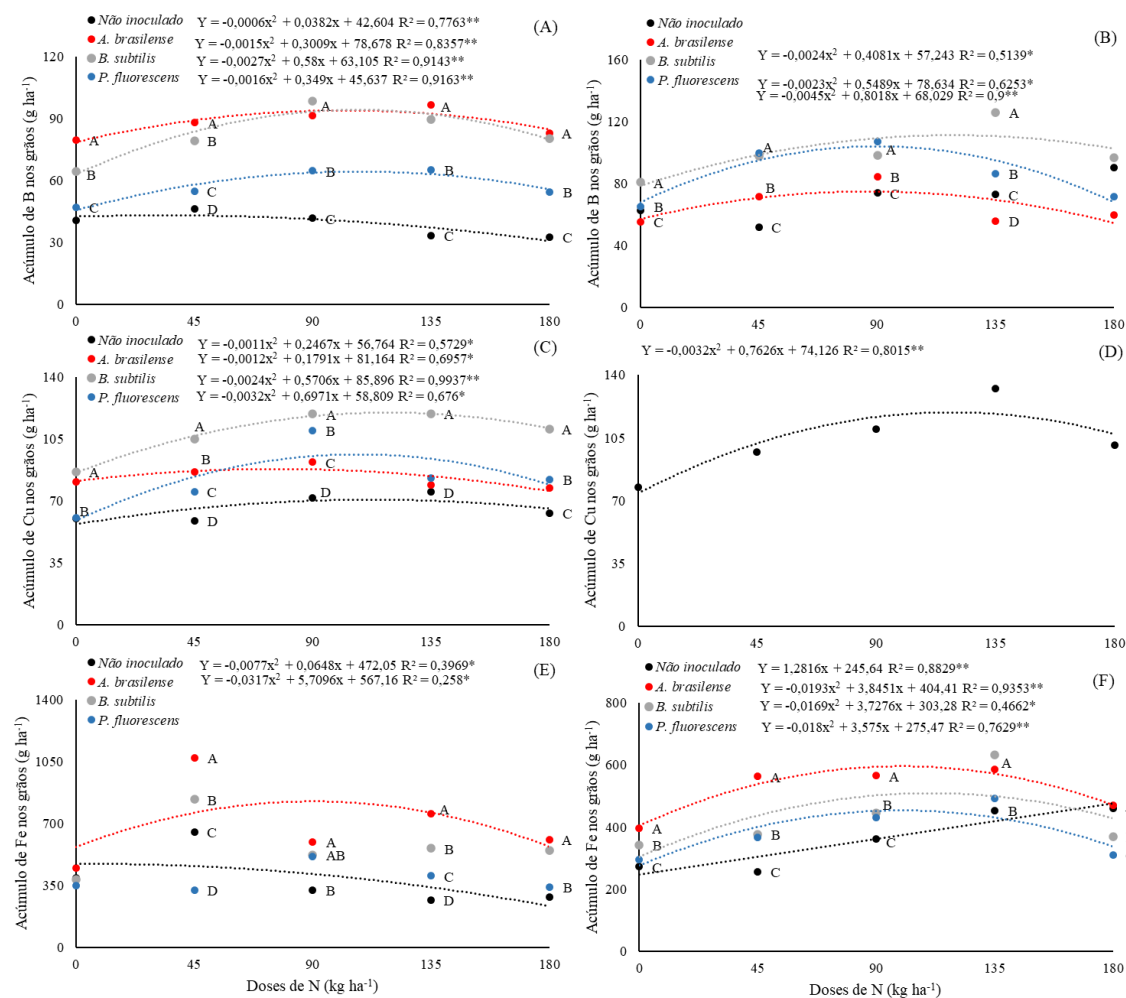
Nas inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um incremento de 53, 56 e 64% no acúmulo de B nas doses calculadas de 85, 119 e 89 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de leguminosas, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* proporcionou maior acúmulo de B nos grãos (56%) em relação ao não inoculado na dose de 135 kg ha⁻¹ de N (Figura 11B).

As inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* incrementaram em 14, 38 e 81% o acúmulo de Cu nas doses calculadas de 75, 119 e 109 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de leguminosas, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* proporcionou maior acúmulo de Cu nos grãos (59%) em relação ao não inoculado na dose de 135 kg ha⁻¹ de N (Figura 11C).

Observou-se um incremento no acúmulo de Cu nos grãos até a dose estimada de 119 kg ha⁻¹ de N e houve redução do acúmulo de Cu após esta dose de N no cultivo após leguminosas (Figura 11D). Sob a inoculação com *A. brasilense* houve um incremento de 138% no acúmulo de Fe na dose calculada de 90 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de leguminosas, respectivamente. A inoculação com *A. brasilense* proporcionou maior acúmulo de Fe nos grãos (181%) em relação ao não inoculado na dose de 135 kg ha⁻¹ de N (Figura 11E).

Houve o aumento do acúmulo de Fe nos grãos da mamona conforme o aumento das doses de N após cultivo de leguminosas sob o tratamento não inoculado. Sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* verificou-se um incremento de 47, 85 e 67% no acúmulo de Fe na dose calculada de 100, 110 e 99 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de leguminosas, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* proporcionou maior acúmulo de Fe nos grãos (40%) em relação ao não inoculado na dose de 135 kg ha⁻¹ de N (Figura 11F).

Figura 11. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de B nos grãos após cultivo de gramíneas (A) e após leguminosas (B), acúmulo de Cu nos grãos após gramíneas (C) e acúmulo de Fe nos grãos após gramíneas (E) e após leguminosas (F). Efeito das doses de N sobre o acúmulo de Cu nos grãos após leguminosas (D).



Notou-se efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de N ($P < 0,01$) após o cultivo com leguminosas e gramíneas. As inoculações sobre os acúmulos de Mn e Zn nos grãos de mamona cultivada após o cultivo com gramíneas e leguminosas, foi observado efeito significativo ($p < 0,01$) das inoculações sobre o acúmulo de Mn após gramíneas e leguminosas, acúmulo de Zn após leguminosas (Tabela 12).

Tabela 12. Resumo da análise de variância do acúmulo de manganês nos grãos após cultivo com gramíneas (Mn-G) e leguminosas (Mn-L), do acúmulo de zinco nos grãos no cultivo após gramíneas (Zn-G) e leguminosas (Zn-L) sob efeito de doses de N e inoculações de BPCPs.

F.V.	Probabilidade (Pr>Fc)			
	Mn-G	Mn-L	Zn-G	Zn-L
	-----g ha ⁻¹ -----			
Bloco	0,09ns	0,49ns	0,22ns	0,16ns
Inoculação (I)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Doses (D)	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
I*D	0,00**	0,00**	0,19ns	0,00**
Linear	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Quadrática	0,07ns	0,00**	0,00**	0,00**
CV (%)	11,59	10,19	11,58	8,93
Inoculação				
Não inoculado	100,7	111,9	284,7 c	278,4
<i>A. brasilense</i>	139,1	167,7	386,9 b	370,6
<i>B. subtilis</i>	173,4	144,3	423,0 a	358,6
<i>P. fluorescens</i>	136,6	143,3	352,9 b	332,5
Doses de N (kg ha ⁻¹)				
0	120,8	110,7	322,6	278,6
45	131,9	152,3	355,2	306,7
90	144,9	157,2	401,1	365,4
135	142,2	156,0	353,0	391,1
180	147,4	132,8	377,6	333,4
Média geral	137,4	141,8	361,9	335,0

ns – não significativo, * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F. Letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey.

Reportou-se o aumento do acúmulo de Mn nos grãos da mamona conforme o aumento das doses de N após cultivo de gramíneas sob a inoculação com *B. subtilis*. Sob as inoculações com *A. brasilense*, *P. fluorescens* e *B. subtilis* houve um incremento de 24, 28 e 35% no acúmulo de Mn na dose calculada de 99 e 126 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de gramíneas, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* proporcionou maior acúmulo de Mn nos grãos (106%) em relação ao não inoculado na dose de 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 12A).

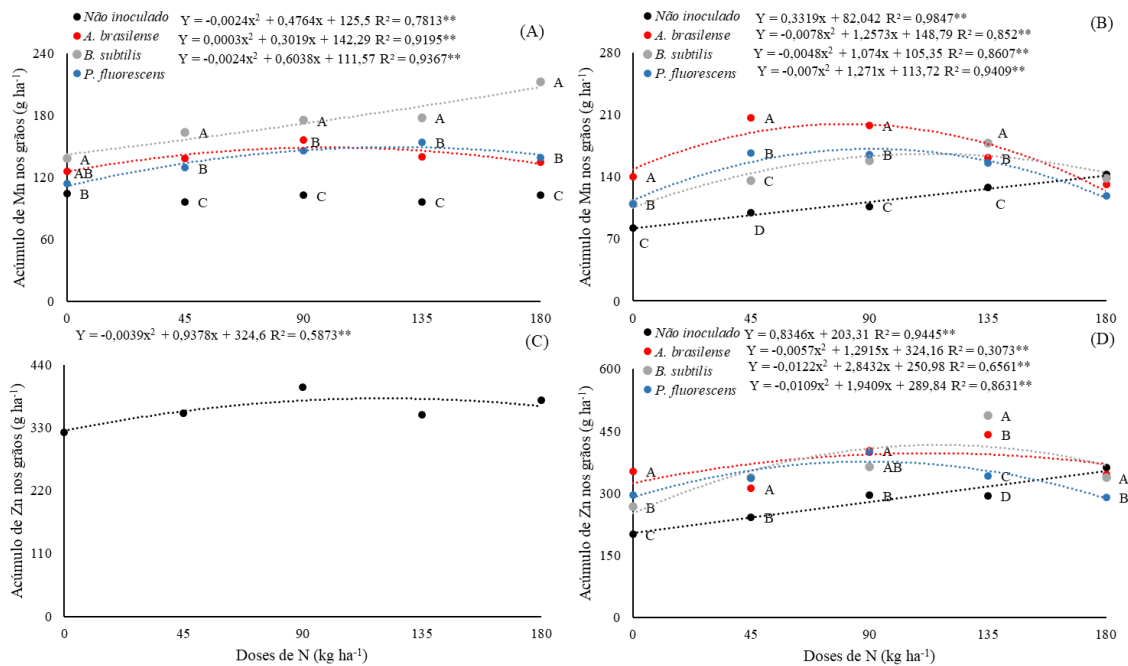
Constatou-se o aumento do acúmulo de Mn nos grãos da mamona conforme o aumento das doses de N após cultivo de leguminosas sob o tratamento não inoculado. Sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um incremento de 47, 62 e 51% no acúmulo de Mn na dose calculada de 81, 112 e 91 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de leguminosas, respectivamente. A inoculação com *A. brasilense* proporcionou maior acúmulo de Mn nos grãos (108%) em relação ao não inoculado na dose de 45 kg ha⁻¹ de N (Figura 12B).

Houve um incremento no acúmulo de Zn nos grãos até a dose estimada de 120 kg ha⁻¹ de N e notou-se redução do acúmulo de Zn após esta dose de N no cultivo após gramíneas (Figura 12C).

Observou-se o aumento do acúmulo de Zn nos grãos da mamona conforme o aumento das doses de N após cultivo de leguminosas sob o tratamento não inoculado. Sob as inoculações

com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* houve um incremento de 25, 83 e 35% no acúmulo de Zn na dose calculada de 113, 117 e 89 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de leguminosas, respectivamente. A inoculação com *B. subtilis* proporcionou maior acúmulo de Zn nos grãos (66%) em relação ao não inoculado na dose de 135 kg ha⁻¹ de N (Figura 12D).

Figura 12. Efeito da interação das doses de N e das inoculações sobre a o acúmulo de Mn nos grãos após cultivo de gramíneas (A) e após leguminosas (B), acúmulo de Zn nos grãos após leguminosas (D). Efeito das doses de N sobre o acúmulo de Zn nos grãos após gramíneas (C).



5. DISCUSSÃO

O aumento da massa seca da palhada, produtividade de grãos e outros componentes produtivos são efeitos observados da inoculação com *P. fluorescens*, *A. brasilense* e *B. subtilis* em diversas culturas nos mais diversos sistemas de cultivo agrícola (ANDRADE *et al.*, 2019; CHU *et al.*, 2020; ROSA *et al.*, 2020; AKHTYAMOVA *et al.*, 2021; JALAL *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2022; FONSECA *et al.*, 2022; GALINDO *et al.*, 2022), existem resultados promissores ao inocular *A. brasilense* via foliar milho (PEREIRA *et al.*, 2020). Porém, não há relatos do sucesso das inoculações isoladas com estas bactérias, e sua capacidade de promover crescimento nas plantas de mamona cultivada no Cerrado brasileiro. Associar o uso destas bactérias a doses de N tem sido estudado em diversas pesquisas e culturas com a intenção de reduzir o consumo de N na agricultura (GALINDO *et al.*, 2020; GALINDO *et al.*, 2022)

A inoculação com *A. brasilense* proporcionou maior ICF na dose de 180 kg ha⁻¹ de N cultivado após gramíneas, e no cultivo após leguminosas a inoculação com *P. fluorescens* e o não inoculado proporcionaram maior ICF na dose de 180 kg ha⁻¹ de N (Figura 4). A maior eficiência fotossintética das plantas inoculadas com *A. brasilense* e *P. fluorescens* foi anteriormente relatada e pode estar relacionada com a maior capacidade da planta de assimilação e deposição de carbono nas folhas das plantas (GALINDO *et al.*, 2020; JALAL *et al.*, 2021; MORTINHO *et al.*, 2022). A inoculação com *A. brasilense* proporcionou maior acúmulo de massa na palhada da mamona sob as doses de 90 e 135 kg ha⁻¹ de N, este efeito foi observado sob inoculação com *P. fluorescens* na dose de 0 e 45 kg ha⁻¹ de N após gramíneas. Por outro lado, após o cultivo de leguminosas foi verificado maior acúmulo de palhada sob as inoculações com *B. subtilis* e *A. brasilense* nas doses de 135 e 180 kg ha⁻¹ de N (Figuras 5A e 5B). Estes resultados ocorrem principalmente pela capacidade de *A. brasilense*, *P. fluorescens* e *B. subtilis* de colonizar o sistema radicular e produzir hormônios vegetais que promovem o crescimento das raízes e da parte aérea, além de aumentar a exploração dos ambientes de cultivo com um sistema radicular maior (PRASAD; BABU, 2017; MEKONNEN; KIBRET, 2021).

O aumento da produção de hormônios vegetais pelas plantas inoculadas também está atrelado ao aumento da distribuição de fotoassimilados pela planta, principalmente no período de maior exigência da planta (florescimento e frutificação), podendo interferir positivamente na produtividade de grãos (MORTINHO *et al.*, 2022; JALAL *et al.*, 2023). Este efeito foi observado na produtividade de grãos de mamona sob o cultivo após gramíneas quando inoculado com *B. subtilis* após gramíneas. Por outro lado, a inoculação com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* proporcionaram aumento da produtividade de grãos de mamona na

dose de 90 kg ha⁻¹ de N, e na dose de 45 kg ha⁻¹ de N, a inoculação com *P. fluorescens* promoveu maior eficiência para aumentar a produtividade de grãos em relação aos demais, e na dose de 135 kg ha⁻¹ de N foi observado maior produtividade sob a inoculação com *B. subtilis* no cultivo após leguminosas. A maior produtividade de óleo de mamona observada foi sob a inoculação com *P. fluorescens* na dose de 90 kg ha⁻¹ de N e sob a inoculação com *B. subtilis* na dose de 135 kg ha⁻¹ de N; na dose de 0 e 45 kg ha⁻¹ de N as três inoculações proporcionaram maior produtividade de óleo em relação ao não inoculado (Figura 5).

Os efeitos benéficos das inoculações com BPCPs podem ser prejudicados pelo alto fornecimento de N, pelos resultados obtidos é nítido que as maiores doses de N prejudicam o desempenho das bactérias utilizadas no cultivo de mamona, por reduzirem a produtividade de grãos e de óleo dos grãos, efeito não observado quando não inoculado, pois a maior produtividade de grãos e de óleo foi observada na dose de 180 kg ha⁻¹ de N após cultivo com leguminosas (Figuras 3D e 3F). O alto fornecimento de N em plantas inoculadas pode aumentar a competição das bactérias e das raízes pela grande quantidade de N presente no solo, tendo efeito contrário ao desejado principalmente pelos mecanismos utilizados pelas bactérias para fixar N₂ (FUKAMI *et al.*, 2018; GALINDO *et al.*, 2022). Proporcionando maior captação de N-NH₄⁺ pelas raízes da planta e sua translocação para a parte aérea e grãos sob a inoculação com *A. brasilense* (GALINDO *et al.*, 2022). O acúmulo de N-NH₄⁺ aumentou conforme houve o incremento do fornecimento de N em cobertura na mamona sob os tratamentos não inoculação e a inoculação com *A. brasilense* e *P. fluorescens* pode ser atribuído pelo aumento do fornecimento de N e da capacidade das bactérias de aumentar a absorção de N-NH₄⁺. Porém, acúmulo de N-NH₄⁺ reduziu conforme o aumento das doses de N quando inoculado com *B. subtilis*, é evidente o maior acúmulo de N-NH₄⁺ na palhada na dose 0 e 45 kg de N quando inoculado com *B. subtilis* no cultivo após gramíneas (Figura 6A). O maior acúmulo do N-NH₄⁺ na palhada da mamona pode ser atrelado nas menores doses de N pode ser atrelado a capacidade do *B. subtilis* de realizar FBN e no aumento da atividade da enzima NR (BLAKE *et al.*, 2021). E ainda de aumentar a eficiência do uso de fertilizantes nitrogenados na agricultura (ALMEIDA NETA *et al.*, 2021).

A capacidade de cepas de *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* de aumentar a atividade da NR nas folhas das plantas foi anteriormente estudada e comprovada, sendo um importante destaque para o funcionamento do metabolismo do N, sua aquisição e suas rotas de transporte dentro da planta (LEE *et al.*, 2020; TABAGLIO *et al.*, 2020; BLAKE *et al.*, 2021). A maior atividade a NR foi observada sob a inoculação com *B. subtilis* nas doses de 0, 45, 90 e 135 kg ha⁻¹ de N após o cultivo de gramíneas, por outro lado, após o cultivo com leguminosas

a maior atividade da NR sob as inoculações com *P. fluorescens* e *B. subtilis* nas doses 0, 45 e 90 kg ha⁻¹ de N; nas doses de 135 e 180 kg ha⁻¹ de N a maior atividade da NR foi observada sob inoculação com *P. fluorescens*. O aumento do fornecimento de N influenciou a atividade da NR nas folhas independente das inoculações, plantas inoculadas com *B. subtilis* tem menor atividade da NR a partir da dose de 135 kg ha⁻¹ de N (Figuras 5E e 5F). Os acúmulos de N-NO₃⁻ aumentaram com o aumento das doses de N sob as inoculações com *B. subtilis*, *A. brasilense* e *P. fluorescens* no cultivo após leguminosas, por outro lado, no cultivo após gramíneas os acúmulos de N-NO₃⁻ foram maiores nas doses estimadas de 113 e 169 kg ha⁻¹ de N sob a inoculação com *B. subtilis* e não inoculado (Figuras 5C e 5D). A redução da concentração foliar do N-NO₃⁻ ocorre com o aumento da atividade da enzima NR e é ocasionada principalmente pela quebra do N-NO₃⁻ depois de absorvido em nitrito (LEE *et al.*, 2020; TABAGLIO *et al.*, 2020; BLAKE *et al.*, 2021); esta redução do nitrato em nitrito ocorre no citosol pelas atividades da enzima nitrato redutase por via de entrada nos plastídios ou cloroplastos para reduzir em amônia que foi fixada via glutamato sintase/glutamina sintase em aminoácidos (YONEYAMA; SUZUKI, 2019). No nosso estudo curiosamente não houve uma redução do acúmulo do N-NO₃⁻ mesmo com o aumento da atividade NR principalmente pela grande diferença entre o acúmulo de massa seca da palhada nos tratamentos com fornecimento adequado de N.

Além disso, nitidamente foi observado aumento dos acúmulos de N com o fornecimento do N em cobertura. O maior acúmulo de N na palhada após gramíneas foi observado sob as inoculações com *B. subtilis* e *P. fluorescens* na dose de 45 kg ha⁻¹ de N e com *A. brasilense* na dose de 135 kg ha⁻¹ de N, porém o maior fornecimento de N proporcionou maior acúmulo de N apenas no tratamento não inoculado. Após o cultivo com leguminosas foi verificado maior acúmulo nas doses de 135 e 180 kg ha⁻¹ de N sob as inoculações com *A. brasilense* e *B. subtilis* (Figura 6). A inoculação com *A. brasilense* e *B. subtilis* proporcionou maior acúmulo de N nos grãos em todas as doses de N após cultivo de gramíneas, contudo, no cultivo após leguminosas a inoculação com *B. subtilis* e *P. fluorescens* promoveu maior acúmulo N nos grãos nas doses de 45 e 135 kg ha⁻¹ de N (Figura 10). As plantas de mamona são tolerantes a falta de água por este motivo são cultivadas desde regiões áridas a regiões com distribuição adequada de água, nas condições adequadas de sistema de cultivo e de água, é notável que em condições ideais as plantas têm maior desenvolvimento (ZOZ *et al.*, 2021). Além disso, as plantas de mamona são responsivas a adubação nitrogenada, com maior aquisição de N pelas plantas e sendo translocados para os tecidos vegetais (CAVALCANTE *et al.*, 2020). Além disso, as inoculações com *B. subtilis*, *P. fluorescens* e *A. brasilense* proporcionaram aumento na eficiência do uso do N aplicado, conseguindo reduzir a adubação nitrogenada quando realizada um manejo

adequado das inoculações (FUKAMI *et al.*, 2018; GALINDO *et al.*, 2020; LEE *et al.*, 2020; BLAKE *et al.*, 2021).

A maior absorção de K de mamona pelas plantas melhora o balanço hídrico das plantas, proporcionando maior conteúdo relativo de água e índice de integridade de membranas celulares das folhas, fatores determinantes para reduzir efeitos nocivos de estresse abiótico (STEINER *et al.*, 2022). As inoculações com *P. fluorescens*, *A. brasilense* e *B. subtilis* proporcionaram aumento do acúmulo de K e P na palhada e nos grãos das plantas mamona nas doses de até 135 kg ha⁻¹ de N (Figuras 6 e 10). Isso pode ser explicado pela alta capacidade de captação de nutrientes pelo maior crescimento radicular ocorrido pelo aumento dos hormônios vegetais. Estes nutrientes ainda influenciam a fotossíntese, translocação da fotossintatos, síntese de proteínas, regulação estomática, ativação de enzimas e muitos outros processos (GANESHAMURTHY *et al.*, 2011). O P participa de processos metabólicos e fisiológicos da planta, compondo principalmente a ATP, NADPH, ácidos nucleicos, fosfatos de açúcar e fosfolipídios, todos os quais desempenham papéis importantes na fotossíntese (CARSTENSEN *et al.*, 2018); além disso, a deficiência de P afeta a assimilação de CO₂ pelas folhas, por reduzir a regeneração dependente da ATP da ribulose-1,5-bifosfato no ciclo de Calvin (YAN *et al.*, 2015).

O Ca tem papel primordial na formação e crescimento dos tecidos das plantas, na senescência foliar e na fertilidade das flores (REN *et al.*, 2021). O Mg é o componente fundamental dos pigmentos de clorofila no complexo captador de luz dos cloroplastos e, portanto, está envolvido na assimilação fotossintética de CO₂ (GERENDÁS; FÜHRS, 2013). Entre 15 a 35% do Mg absorvido pelas plantas é fixado em pigmentos fotossintéticos, com a porção restante (entre 65 a 85%) depositada nos vacúolos ou utilizada para a síntese de proteínas e outros processos biológicos relacionados (MARSCHNER, 2012). O Mg também atua como cofator de numerosas enzimas (mais de 300) envolvidas na biossíntese de clorofilas e na fixação fotossintética de CO₂ (BILLARD *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2018). Em nosso estudo foi possível identificar aumento dos acúmulos de Ca e Mg na palhada sob as inoculações de *A. brasilense* e *B. subtilis* em todas as doses de N em relação ao não inoculado após cultivo com gramíneas e leguminosas (Figura 7). Este efeito foi observado no acúmulo de Ca nos grãos após leguminosas até a dose de 135 kg ha⁻¹ de N, como no acúmulo de Mg nos grãos onde todas as inoculações proporcionaram maior acúmulo de Mg nos grãos em relação ao não inoculado (Figura 11). Com base nisto é possível identificar que doses elevadas de N associada a inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* prejudica a absorção de nutrientes pela planta e seu transporte para os tecidos vegetais e grãos de mamona.

Uma adequada formação e estabilização de paredes celulares primárias nas plantas dependem do fornecimento e aquisição adequada de B pelas plantas, como integridade da parede celular relacionado diretamente do B para realizar a transdução de sinal efetiva do apoplasto para o citoplasma, fundamental para a função celular (WIMMER *et al.*, 2019). A maior integridade das membranas da parede celular é essencial para que ocorra o crescimento e desenvolvimento dos tecidos da planta (LEWIS, 2019). O B e o Ca promovem aumento do crescimento de novos pelos radiculares que são efetivos na absorção de água e nutrientes para manutenção da planta.

Os maiores acúmulos nos grãos de mamona foram observados nas doses de 90, 135 e 180 kg ha⁻¹ de N, com aumento nos acúmulos de S-B-Cu-Zn-Fe-Mn em 52-56-59-66-40-106% nas respectivas doses ótimas estimadas da inoculação com *B. subtilis* em relação ao não inoculado. O aumento da eficiência da absorção e transporte de nutrientes pelas plantas inoculadas com *B. subtilis* está principalmente relacionado pelo aumento do crescimento das raízes, produção de sideróforos, produção de compostos secundário e de fitormônios na planta (QIAO *et al.*, 2017; FONSECA *et al.*, 2022).

6. CONCLUSÕES

Os componentes de produção, palhada e produtividade de grãos da mamona-anã são influenciados de forma positiva e diferenciada por bactérias promotoras de crescimento associado a doses de N, em cultivos após gramíneas ou leguminosas.

Os acúmulos de N e demais nutrientes, NH_4^+ e NO_3^- na palhada, de N e demais nutrientes nos grãos e a atividade da nitrato redutase também são influenciados de forma positiva e diferenciada por bactérias promotoras de crescimento associado a doses de N, em cultivos após gramíneas ou leguminosas. A inoculação *Azospirillum brasilense* proporciona maior acúmulo de nitrato na palhada, e de *Bacillus subtilis* promove maior acúmulo de N nos grãos e atividade da nitrato redutase na folha, sem diferir da *Pseudomonas fluorescens*.

O teor de óleo da mamona-anã praticamente não é influenciado por doses de N. Contudo, o *Azospirillum brasilense* após leguminosas proporciona menor teor de óleo.

As produtividades de grãos e de óleo de mamona aumentam até a dose estimada de 103 kg ha⁻¹ de N em relação a não aplicação de N em cobertura, após cultivo de gramíneas. Após o cultivo com leguminosas, o incremento das doses de N aumenta linearmente a produtividade de grãos no tratamento não inoculado; e de forma mais expressiva, aumenta em 28, 64 e 40% a produtividade de grãos nas doses estimadas de 97, 113 e 92 kg ha⁻¹ de N sob as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* em relação ao não fornecimento de N, respectivamente.

Após o cultivo com gramíneas, as maiores produtividade de grãos são constatadas com inoculação com *B. subtilis* e *A. brasilense*. Após o cultivo com leguminosas, as inoculações com *A. brasilense*, *B. subtilis* e *P. fluorescens* proporcionam aumento de 37, 21 e 33% na produtividade de grãos em relação ao não inoculado na dose de 0 kg de N; e na dose de 90 kg ha⁻¹ de N, incrementa-se com as respectivas BPCPs em 33, 25 e 40% a produtividade em relação ao não inoculado. A inoculação com *B. subtilis* promove aumento de 41% na produtividade de grãos em relação ao não inoculado na dose de 135 kg ha⁻¹ de N, e na dose de 45 kg ha⁻¹ de N é observado aumento produtivo de 50% sob a inoculação de *P. fluorescens* em relação ao não inoculado.

Recomenda-se como primeira opção a inoculação com *Bacillus subtilis*, seguida de *Azospirillum brasilense* para obtenção de altas produtividade de grãos de mamona-anã, com redução de doses de N, independentemente do cultivo antecessor com gramíneas ou leguminosas.

REFERÊNCIAS

- AINI, N.; YAMIKA, W. S. D.; ULUM, B. Effect of nutrient concentration, PGPR and AMF on plant growth, yield and nutrient uptake of hydroponic lettuce. **International Journal of Agriculture and Biology**, Faisalabad, v. 21, p. 175–183, 2019.
- AKATSUKI, T. Metal oxidoreduction by microbial cells. **Journal of Industrial Microbiology**, Oxford, v. 14, n. 2, p. 169–177, 1995.
- AKHTYAMOVA, Z.; ARKHIPOVA, T.; MARTYNENKO, E.; NUZHNYAYA, T.; KUZMINA, L.; KUDOYAROVA, G.; VESELOV, D. Growth-Promoting effect of rhizobacterium (*Bacillus subtilis* IB22) in salt-stressed barley depends on abscisic acid accumulation in the roots. **International Journal of Molecular Science**, Irvine, v. 22, n. 19, a.10680, 2021.
- ALEXANDRE, G.; RENÉ, R.; RENÉ, B. A phase variant of *Azospirillum lipoferum* lacks a polar flagellum and constitutively expresses mechanosensing lateral flagella. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 65, p. 4701-4704, 1999.
- ALMEIDA NETA, M. N.; ALMEIDA, E. S.; COSTA, C. A.; NUNES, J. A. R.; FERNANDES, L. A.; PEGORARO, R. F. Inoculation of *Bacillus spp.* and nitrogen levels increase chickpea production. **Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 45, n.1, e015421, 2021.
- AMARAL, P. M., VARANDA, L. D., NAKASHIMA, G. T., OLIVEIRA, P. B. M., SANTOS, L. R. O., PÁDUA, F. A., YAMAJI, F. M. Use of castor oil plant pie for solid biofuel production. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, [s. l.], v. 8, n.3, p.574- 582, 2019.
- ANDRADE, A. F.; ZOZ, T.; ZOZ, A.; OLIVEIRA, C. E. S.; WITT, T. W. *Azospirillum brasilense* inoculation methods in corn and sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 49, p. e53027, 2019
- ARAUJO, F.F. Inoculação de sementes com *Bacillus subtilis*, formulado com farinha de ostras e desenvolvimento de milho, soja e algodão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 456-462, 2008.
- ARDAKANI, M.R.; MAZAHARI, D.; MAFAKHERI, S.; MOGHADDAM, A. Absorption efficiency of N, P, K through triple inoculation of wheat (*Triticum aestivum* L.) by *Azospirillum brasilense*, *Streptomyces sp.*, *Glomus intraradices* and manure application. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, [s. l.], v. 17, p. 181-192, 2011.
- AZEVEDO, D. M. P.; NÓBREGA, L. B.; LIMA, E. F.; BATISTA, F. A. S.; BELTRÃO, N. E. M. Manejo Cultural. In: AZEVEDO, D. M. P.de; LIMA, E. F. (ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 121-160.
- BAGATINI, T.; COGO, N. P.; GILLES, L.; PORTELA, J. C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H. T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.35, p. 999-1011, 2011.

BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth - a critical assessment. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 108, p. 77-136, 2010.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L.E. Review: *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, p. 521-577, 2004.

BASHAN, Y.; LEVANONY, H. Review: Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 36, p. 591-603, 1990.

BELTRÃO, N. E. de M.; CARTAXO, W. V.; PEREIRA, S. R. de P.; SOARES, J. J.; SILVA, O. R. R. **O cultivo sustentável da mamona no semiárido brasileiro**. Cartilha 1. Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2006. 62 p.

BANCO DE DESENVOLVIMENTO DE MINAS GERAIS - BDMG. **Programa operacional de incentivo à cultura da mamona na área mineira da sudene**. Belo Horizonte: [s. n.], , 2000.

BILLARD, V.; MAILLARD, A.; COQUET, L.; JOUENNE, T.; CRUZ, F.; GARCIA-MINA, J. M. Mg deficiency affects leaf Mg remobilization and the proteome in *Brassica napus*. **Plant Physiology Biochemistry**, Rockville, v. 107, p. 337–343, 2016.

BLAKE, C.; CHRISTENSEN, M. N.; KOVÁCS, A. T. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, St. Paul, v. 34, n. 1, p. 15–25, 2021.

BONIN, Catherine; LAL, Rattan. Agronomic and ecological implications of biofuels. In: **Advances in Agronomy**. [S. l.]: Academic, 2012. p. 1-50.

BRASIL. Ministério da Minas e Energias. Agência Nacional do Petróleo, Gás Combustível e Biocombustíveis. **Programa nacional de produção e uso de biodiesel. biodiesel: o novo combustível do Brasil**. Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Acesso em: fev. 2021.

CAMPOS, A. X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura de milho em um solo do cerrado de Brasília sob pastagem de *B. decumbens***. 2004. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura-CENA/USP, Piracicaba, 2004.

CAMPOS SILVA, J.R.; SOUZA, R.M.; ZACARONE, A.B.; SILVA, L.H.C.P.; CASTRO, A.M.S. Bactérias endofíticas no controle e inibição in vitro de *Pseudomonas syringae* pv. tomato, agente da pinta bacteriana do tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 1062-1072, 2008.

CANGEMI, José Marcelo; SANTOS, A. M.; CLARO NETO, S. A revolução verde da mamona. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 3-8, 2010.

CARSTENSEN, A.; HERDEAN, A.; SCHMIDT, S. B.; SHARMA, A.; SPETEA, C.; PRIBIL, M.; HUSTED, S. The Impacts of Phosphorus Deficiency on the Photosynthetic Electron Transport Chain. **Plant Physiology**, Rockville, v. 177, n. 1, p. 271–284, 2018.

CASSÁN, F.; DIAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 103, p.117-130, 2016.

CAVALCANTE, A. R.; LIMA, W. B.; CHAVES, L. H. G.; FERNANDES, J. D.; SOUZA, F. G.; SILVA, S. A. Mineral fertilization with macronutrients in castor bean, lineage UFRB 222. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n.2, p.106-114, 2020.

CHEN, Z. C.; PENG, W. T.; LI, J.; LIAO, H. Functional dissection and transport mechanism of magnesium in plants. **Semin. Cell Dev. Biology**, London, v. 74, p. 142–152, 2018.

CHIERICE, G.O.; CLARO NETO, S. Aplicação industrial do óleo. In: AZEVEDO, D. M. P. e LIMA, E. F. (orgs.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2001. p. 89-120.

CHOTTE, J.; SCHWARTZMANN, A.; BALLY R & MONROZIER LJ. Changes in bacterial communities and *Azospirillum* diversity in soil fractions of a tropical soil under 3 or 10 years of natural fallow. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 1083-1092, 2002.

CHU, T. N.; BUI, L. V.; HOANG, M. *Pseudomonas* PS01 isolated from maize rhizosphere alters root system architecture and promotes plant growth. **Microorganisms**, Basel, v. 8, n. 4, p. a.471, 2020.

CHUBATSU, L.S.; MONTEIRO, R.A.; DE SOUZA, E.M.; DE OLIVEIRA, M.A.S.; YATES, M.G.; WASSEM, R.; BONATTO, A.C.; HUERGO, L.F.; STEFFENS, M.B.R.; RIGO, L.U.; PEDROSA, F.O. Nitrogen fixation control in *Herbaspirillum seropedicae*. **Plant and Soil**. no prelo. DOI 10.1007/s11104-011-0819-6, 2012.

COELHO, F.L.; FREITAS, S.S.; MELO, A.M.T.; AMBROSANO, G.M.B. Interação de bactérias fluorescentes do gênero *Pseudomonas* e de *Bacillus* spp. com a rizosfera de diferentes plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, p. 1413-1420, 2007.

COMPANT, S.; DUFFY, B.; NOWAK, J.; CLEMENT, C.; BARKA, E. A. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 71, p. 4951-4959, 2005.

CONAB. **Boletim Grãos**. Outubro 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 10 out. 2020.

CORREA, O.S.; ROMERO, A.M.; SORIA, M.A.; DE ESTRADA, M. *Azospirillum brasilense*-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (ed.) ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Buenos Aires: Asociación Argentina de Microbiología, 2008. p.87-95

CRANE, F. L., SUN I. L., CLARK M. G. Transplasma-membrane redox systems in growth and development. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 811, n. 3, p. 233–264, 1985.

CREUS, C.; SUELDO, R.J.; BARASSI, C.A. *Azospirillum* Inoculation in pre-germinating wheat seeds. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 42, p. 83-86, 1996.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M.; LEMOS, L. B. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1545-1552, 2007.

DEVIDE, A. C. P. *et al.* Plantio direto de mamona “IAC 80” com culturas alimentares. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.3, p.653-659, 2010.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**, New York, v. 22, p. 107-149, 2003.

EL-SAYED, S. F.; HASSAN, H. A.; EL-MOGY, M. M. Impact of Bio and Organic Fertilizers on potato yield, quality and tuber weight loss after harvest. **Potato Research** Dordrecht, v. 58, p. 67-81, 2015.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília, DF: Embrapa-SCT/Embrapa-CNPAF, 294 p, 1999.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 37, p. 529-535, 2019. DOI: 10.28951/rbb. v37i4.450, 2019.

FERREIRA, G. B.; BELTRÃO, N. D. M.; SEVERINO, L. S.; GONDIM, T. D. S.; PEDROSA, M. B. **A cultura da mamona no cerrado: riscos e oportunidades**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão-Documents, 2006. (INFOTECA-E).

FERREIRA, R.B., TEIXEIRA, I.R., REIS, E.F., TEIXEIRA, G.C.S., SILVA, A.G. Management of top-dressed nitrogen fertilization in the common bean/castor intercropping system. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 8, p. 1086-1092, 2014.

FONSECA, M. D. C. D.; BOSSOLANI, J. W.; DE OLIVEIRA, S. L.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; SCUDELETTI, D.; DE OLIVEIRA, E. F.; CRUSCIOL, C. A. C. *Bacillus subtilis* Inoculation improves nutrient uptake and physiological activity in sugarcane under drought stress. **Microorganisms**, Basel, v. 10, p. 809, 2022.

FREIRE, E.C.; LIMA, E.F.; ANDRADE, F.P.; MILANI, M.; NÓBREGA, M.B.M. Melhoramento genético. In: AZEVEDO, D.M.P. de; BELTRÃO, N.E. de M. (Ed.). **O agronegócio da mamona no Brasil**. 2.ed. rev. ampl. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. p.169-194.

FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **AMB Express**, Heidelberg, v. 8, p.73, 2018.

GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; BOLETA, E. H. M.; SILVA, V. M.; TAVANTI, R. F. R.; FERNANDES, G. C. ; BIAGINI, A. L. C. ; ROSA, P. A. L. ; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. . Inoculation of *Azospirillum brasilense* associated with silicon as a liming source to improve nitrogen fertilization in wheat crops. **Scientific Reports**, London, v. 10, p. 6160, 2020.

GALINDO, F.S.; PAGLIARI, P.H.; DA SILVA, E.C.; SILVA, V.M.; FERNANDES, G.C.; RODRIGUES, W.L.; CÉU, E.G.O.; DE LIMA, B.H.; JALAL, A.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; LAVRES, J.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Co-Inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* sp. Enhances Nitrogen Uptake and Yield in Field-Grown Cowpea and Did Not Change N-Fertilizer Recovery. **Plants**, Basel, v. 11, p. 1847 2022.

GALINDO, F. S.; PAGLIARI, P. H.; RODRIGUES, W. L.; FERNANDES, G. C.; BOLETA, E. H. M.; SANTINI, J. M. K.; JALAL, ARSHAD; BUZETTI, S.; LAVRES, JOSÉ; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Silicon amendment enhances agronomic efficiency of nitrogen fertilization in maize and wheat crops under tropical conditions. **Plants**, Basel, v. 10, p. 1, 2021.

GANESHAMURTHY, A. N.; SATISHA, G. C.; PATIL, P. Potassium nutrition on yield and quality of fruit crops with special emphasis on banana and grapes. **Karnataka The Journal of Agricultural Science**, Bangalore, v. 24, n. 1, p. 29-38, 2021.

GERENDÁS, J.; FÜHRS, H. The significance of magnesium for crop quality. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 368, p. 101–128, 2013.

GUIMARÃES, S.L.; BALDANI, V.L.D.; JACOB-NETO, J. Viabilidade do inoculante turfoso produzido com bactérias associativas e molibdênio. **Revista Ciência Agronômica**, Jaboticabal, v. 44, p. 10- 15, 2013.

GUPTA, V.P.; BOCHOW, H.; DOLEJ, S.; FISCHER, I. Plant growth-promoting *Bacillus subtilis* strain as potential inducer of systemic resistance in tomato against *Fusarium* wilt. **Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz**, Heidelberg, v. 107, p. 145-154, 2000.

HALFELD-VIEIRA, B.A.; VIEIRA, J.R.; ROMEIRO, R.S.; SILVA, H.S.A.; BARACATPEREIRA, M.C. Induction of systemic resistance in tomato by the autochthonous phylloplane resident *Bacillus cereus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 1247-1252, 2006.

HAUWAERTS, D.; ALEXANDRE, G.; DAS, S.K.; VANDERLEYDEN, J.; ZHULIN, I.B. A major chemotaxis gene cluster in *Azospirillum brasilense* and relationships between chemotaxis operons in Alfa-Proteobacteria. **FEMS Microbiology Letters**, Oxford, v. 208, p. 61-67, 2002.

HISCOX, J.; ISRAELSTAM, G. F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 57, p. 1332-1334, 1979.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. [S. l.]: Embrapa Soja, 2011.

JACOUD, C.; FAURE, D.; WADOUX, P.; BALLY, R. Development of a strain-specific probe to follow inoculated *Azospirillum lipoferum* crt1 under field conditions and enhancement of maize root development by inoculation. **FEMS Microbiology Ecology**, Oxford, v.27, p.43-51, 1998.

JALAL, A.; GALINDO, F. S.; BOLETA, E. H. M.; OLIVEIRA, C. E. S.; REIS, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; MORETTI NETO, M. J.; MORTINHO, E. S.; FERNANDES, G.C.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Common bean yield and zinc use efficiency in association with diazotrophic bacteria co-inoculations. **Agronomy**, Maringá, v. 11, p. 959, 2021.

JALAL A.; OLIVEIRA C. E. D. S.; BASTOS A. D. C.; FERNANDES G. C.; DE LIMA B. H.; FURLANI J. E.; DE CARVALHO P. H. G.; GALINDO F. S.; GATO I. M. B.; TEIXEIRA F. M. C. M. Nanozinc and plant growth-promoting bacteria improve biochemical and metabolic attributes of maize in tropical Cerrado. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 13, p. 1046642, 2023.

JAMES, E.K. Nitrogen fixation in endophytic and associative symbiosis. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, p. 197-209, 2000.

KANEKO, T.; MINAMISAWA, K.; ISAWA, T.; NAKATSUKASA, H.; MITSUI, H.; KAWAHARADA, Y.; NAKAMURA, Y.; WATANABE, A.; KAWASHIMA, K.; ONO, A.; SHIMIZU, Y.; TAKAHASHI, C.; MINAMI, C.; FUJISHIRO, T.; KOHARA, M.; KATOH, M.; NAKASAKI, N.; NAKAYAMA, S.; YAMADA, M. TABATA, S.; SATO, S. Complete genomic structure of the cultivated rice endophyte *Azospirillum* sp. B510. **Dna. Res**, [s. l.], v. 17, n. 1, p 37-50, 2010.

LANGE A, MARTINEZ AM, SILVA MAC, SORREANO MCM, CABRAL CP, MALAVOLTA E. Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Íris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, p. 61-67, 2005.

LEE, S.; TRINH, C. S.; LEE, W. J.; JEONG, C. Y.; TRUONG, H. A.; CHUNG, N.; KANG, C. S.; LEE, H. *Bacillus subtilis* strain L1 promotes nitrate reductase activity in Arabidopsis and elicits enhanced growth performance in Arabidopsis, lettuce, and wheat. **Journal of Plant Research**, Tokyo, v. 133, p. 231–244, 2020.

LEWIS D. H. Boron: the essential element for vascular plants that never was. **New Phytologist**, Chichester, v. 221, p. 1685–1690, 2019.

LIMA, R.L.S., SEVERINO, L.S., ALBUQUERQUE, R.C., BELTRÃO, N.E.M., SAMPAIO, L.R. Casca e torta de mamona avaliados em vasos com fertilizantes orgânicos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, p. 102-106, 2008.

LIN, S.; NJAA, L.R.; EGGUM, B. O.; SHEN, H. Chemical and biological evaluation of silk worm chrysalid protein. *Journal of. Sciences of Food and Agriculture*, Koforidua, v. 34, n. 8, 1983, p.896-899.

LOZADA, J. A. R. SILVEIRA, K. C.; SILVA, L. J. DA; BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Selection of diazotrophic bacteria isolated from wastewater treatment plant sludge at a poultry slaughterhouse for their effect on maize plants. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 65, n.1, p.85-92, 2018.

MADANKAR, C.S., PRADHAN, S., NAIK, S.N. Parametric study of reactive extraction of castor seed (*Ricinus communis* L.) for methyl ester production and its potential use as bio lubricant. **Industrial Crops Production**, Washington, v. 43, p. 283–290, 2013.

MANJULA, K.; PODILE, A.R..Increase in seedling emergence and dry weight of pigeon pea in the field with chitin-supplemented formulations of *Bacillus subtilis* AF 1. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, Dordrecht, v. 21, p. 1057–1062, 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALEKI, E., AROUA, M.K., SULAIMAN, N.M.N. Castor oil—a more suitable feedstock for enzymatic production of methyl esters. **Fuel Processes Technology**, Amsterdam, v.112, p.129–132, 2013.

MARQUEZ-SANTACRUZ, H. A.; HERNANDEZ-LEON, R.; OROZCOMOSQUEDA, M. C.; VELAZQUEZ-SEPULVEDA, I.; SANTOYO, G. Diversity of bacterial endophytes in roots of mexican husk tomato plants (*Physalis ixocarpa*) and their detection in the rhizosphere. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 9, p. 2372- 2380, 2010.

MASSOLA JÚNIOR, N. S.; BEDENDO, I. P. Doenças da mamoneira (*Ricinus communis*) In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. (ed.) **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 5. ed. Piracicaba: Livro ceres, 2005. p. 445-447.

MATEUS, G.P., CRUSCIOL, C.A.C., BORGHI, E., HIRATA, A.C.S., ARAÚJO, H.S. Adubação nitrogenada em cultivares de mamona no sistema de semeadura direta consolidada. **Magistra**, v.27, p. 460-467, 2015.

MCKEON, T.A. Castor (*Ricinus Communis* L.). **Industrial Oil Crops**. AOCS Press Published by Elsevier Inc., 2016. p. 75–112.

MEKONNEN, H.; KIBRET, M. The roles of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable vegetable production in Ethiopia. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, Heidelberg, v. 8, n. 15, p. 1-11, 2021.

MORO, E.; CRUSCIOL, C.A.C., CARVALHO, L.L.T. Épocas de aplicação de nitrogênio para híbridos de mamona no sistema plantio direto em safrinha. **Semina: Ciências Agrárias**, p. 391-409, 2011.

MORTINHO, E. S.; JALAL, A.; OLIVEIRA, C. E. S.; FERNANDES, G. C.; PEREIRA, N. C. M.; ROSA, P. A. L.; DO NASCIMENTO, V.; DE SÁ, M. E.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Co-Inoculations with plant growth-promoting bacteria in the common bean to increase efficiency of NPK fertilization. **Agronomy**, Maringá, v. 12, p. 1325, 2022.

NAKAGAWA, J. **Marcha de absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio e efeitos da adubação NPK na mamoneira (*Ricinus communis* L.), cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa**. 1971, Tese (Doutorado em Ciências Agrotecnia e Geologia) - Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu. Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 1971.

NOBRE, P. Módulo 1 Políticas públicas -Mudanças Climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. In: LIMA, R. da C. C. R. (ed.) **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA-PB, 2011. p. 25-34.

ONGENA, M.; DUBY, F.; JOURDAN, E.; BEAUDRY, T.; JADIN, V.; DOMMES, J.; THONART, P. *Bacillus subtilis* M4 decreases plant susceptibility towards fungal pathogens by increasing host resistance associated with differential gene expression. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 67, p. 692-698, 2005.

OKON, Y.; LABANDERA, G. C. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years of worldwide field inoculation. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 26, p. 1591–1601, 1994.

PEREIRA, N. C. M.; GALINDO, F. S.; GAZOLA, R. P. D.; DUPAS, E.; ROSA, P. A. L.; MORTINHO, E. S.; FILHO, M. C. M. T. Corn yield and phosphorus use efficiency response to phosphorus rates associated with plant growth promoting bacteria. **Frontiers in Environmental Science**, Lausanne, v. 8, p. 1-12, 2020.

PERSELLO-CARTIEAUX, F.; NUSSAUME L.; ROBAGLIA, C. Tales from the underground: Molecular plant-rhizobacteria interactions. **Plant Cell and Environment**, Chichester, v. 26, p. 186–199, 2003.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Aspectos econômicos da adubação fosfatada para cultura do milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p.617-621, 2001.

PRASAD, A. A.; BABU, S. Compatibility of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in growth promotion of groundnut (*Arachis hypogea* L.). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 89, n. 2, p. 1027-1040, 2017.

QIAO, J., YU, X., LIANG, X., LIU, Y., BORRIS, R., LIU, Y. Addition of plant-growth-promoting *Bacillus subtilis* PTS-394 on tomato rhizosphere has no durable impact on composition of root microbiome. **BMC Microbiology**, London, v. 17, p. 131, 2017.

REIS JUNIOR, V.M. **Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. (Documentos, 232),

REN, H.; ZHAO, X.; LI, W.; HUSSAIN, J.; QI, G.; LIU, S. Calcium signaling in plant programmed cell death. **Cells**, Basel, v. 10, p. 1089, 2021.

ROBERTO, V. M. O.; SILVA, C. D.; LOBATO, P. N. Resposta da cultura do milho a aplicação de diferentes doses de inoculante (*Azospirillum brasilense*) via semente. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28, 1 CD-ROM., Goiânia - GO. **Anais [...]** Goiânia: EMBRAPA, 2010.

RODRÍGUEZ, H., FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnology Advances**, New York, v. 17, n. 4-5, p. 319–339, 1999.

ROMEIRO, R.S.; LANNA-FILHO, R.; VIEIRA, J.R.; SILVA, H.S.A.; BARACAT-PEREIRA, M.C.; CARVALHO, M.G. Macromolecules released by a plant growth-promoting rhizobacterium as elicitors of systemic resistance in tomato to bacterial and fungal pathogens. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 153, p. 120-123. 2005.

ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S., SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, R. C. Valorização de resíduos da agroindústria. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 2., Foz do Iguaçu. **Palestras [...]**, Foz do Iguaçu: [s. n.], 2011.

ROSA, P. A. L.; MORTINHO, E. S.; JALAL, A.; GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; FERNANDES, G. C.; BARCO NETO, M.; PAVINATO, P. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Inoculation with growth-promoting bacteria associated with the reduction of phosphate fertilization in sugarcane. **Frontiers in Environmental Science**, Lausanne, v. 8, n. 32, p. 1-18, 2020.

ROSCOE, R.; MIRANDA, R.A.S. Fixação Biológica de Nitrogênio e Promoção de Crescimento em Milho Safrinha. In: ROSCOE, R.; LOURENÇÃO, A.L.F.; GRIGOLLI, J.F.J. *et al.* (Eds.) **Tecnologia e produção: milho safrinha e culturas de inverno**. 2013. Curitiba: Midiograf, p. 38-44. 2013.

RYAN, R.P.; GERMAINE, K.; FRANKS, A.; RYAN, D.J.; DOWLING, D.N. Bacterial endophytes: recent developments and applications. **FEMS Microbiology Letters**, Oxford, v. 278, p. 1-9, 2008.

SÁ, R. O.; GALBIERI, R.; BÉLOT, J. L.; ZANOTTO, M. D.; DUTRA, S. G.; SEVERINO, L. S.; SILVA, C. J. **Mamona**: opção para rotação de cultura visando à redução de nematoides de galha no cultivo do algodoeiro. Primavera do Leste: Instituto Matogrossense do Algodão, 2015. 12 p. (Circular Técnica, 15).

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F.; MELO, M. L. B. Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 11, p. 1265-1271, 2003.

SANTOS, A. C. M.; FERREIRA, G. B.; XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; SEVERINO, L. V.; BELTRÃO, N. E. M.; DANTAS, J. P.; MORAES, C. R. A. Deficiência de nitrogênio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1., 2004, Campina Grande. **Anais [...]** Campina Grande: Embrapa, 2004.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R., *et al.* (2018) Brazilian System of soil classification. brasil: Embrapa solos. Available at: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094001/brazilian-soil-classification-system>. Acesso em: 5 jan. 2023.

SANTOS, V. M.; CASTRO, H. G.; CARDOSO, D. P.; LIMA, S. O.; LEAL, T. C. A. B.; SANTOS, G. R. Avaliação do crescimento e da produtividade da mamoneira BRS 149 Nordestina em dois níveis tecnológicos. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Tocantinópolis, v. 2, p. 58-66, 2011.

SANTOYO, G.; OROZCO-MOSQUEDA, M. DEL C.; M. GOVINDAPPA, M. Mechanisms of biocontrol and plant growth-promoting activity in soil bacterial species of *Bacillus* and *Pseudomonas*: a review. **Biocontrol Science and Technology**, Abingdon, v. 22, n. 8, p. 855-872, 2012.

SAVY FILHO, A. **Mamona Tecnologia Agrícola**. Campinas: EMOPI, 2005. 105 p.

SAVY FILHO, A.; AMORIM, E.P.; RAMOS, N.P.; MARTINS, A.L.M.; CAVICHIOLI, J.C. IAC-2028: nova cultivar de mamona. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 449-452, 2007.

SAVY FILHO, A.; BANZATTO, N.V. O mercado está para a mamona. **Casa Agric.**, [s. l.], v.5, p.12-15, 1983.

SEVERINO, L.S., FERREIRA, G.B., MORAES, C.R.A., GONDIM, T.M.S., CARDOSO, G.D., VIRIATO, J.R., BELTRÃO, N.E.R. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 879-882, 2006.

SEVERINO, L.S., FERREIRA, G.B., MORAES, C.R.A., GONDIM, T.M.S., FREIRE, W.S.A., CASTRO, D.A., CARDOSO, G.D., BELTRÃO, N.E.R. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutriente e micronutriente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 563-568, 2006.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, D. de F.; ANDRADE, C. de L. T.; SIMEONE, M. L. F.; AMARAL, T. A.; CASTRO, L. A. de; MOURA, B. F. **Análise de nitrato e amônio em solo e água**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 55 p. (Documentos, 114), 2010.

SILVA, F. C. **Manual de análise química de solo, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, T.R.B., LEITE, V.E., SILVA, A.R.B., VIANA, L.H. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 1357-1359, 2007.

SIVASAKTHI, S.; USHARANI, G.; SARANRAJ, P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 16, n. 9, p. 1265-1277, 2014.

SOIL SURVEY STAFF. Keys to soil taxonomy. united states department of agriculture and natural resources conservation service. (Washington, DC, USA: Government Printing Office), 2014.

STEENHOUDT, O.; VANDERLEYDEN, J. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. **FEMS Microbiology Reviews**, Oxford, v. 24, p. 487-506, 2000.

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; OLIVEIRA, C. E. S.; ARDON, H. J. V.; SOUSA, T. O.; AGUILERA, J. G. Can potassium fertilization alleviate the adverse effects of drought stress on soybean plants. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 15, n. 3, p. 8240, 2022.

SUSSEL, A. A. B.; POZZA, E. A.; CASTRO, H. A.; LASMAR, E. B. C. Incidência e severidade do mofo-cinzeno-da-mamoneira sobre diferentes temperaturas, períodos de molhamento e concentração de conídios. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 37, n. 1, p. 30-34, 2011.

TABAGLIO, V.; BOSELLI, R.; FIORINI, A.; GANIMEDE, C.; BECCARI, P.; SANTELLI, S.; NERVO, G. Reducing nitrate accumulation and fertilizer use in lettuce with modified intermittent nutrient film technique (NFT) system. **Agronomy**, Maringá, v. 10, p.1208, 2020.

TSAVKELOVA, E.A.; KLIMOVA, S. Y.; CHERDYNTSEVA, T. A.; NETRUSOV, A. I. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: A review. **Applied Biochemistry and Microbiology**, Moscow, v. 42, p. 117–126, 2006.

VANAJA, M.; JYOTHI, M.; RATNAKUMAR, P.; VAGHEERA, P.; REDDY, P. R.; LAKSHMI, N. J.; YADAV, S. K.; MAHESHWARI, M.; VENKATESWARLU, B. Growth and yield responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) to two enhanced CO₂ levels. **Plant Soil Environ.**, Dordrecht, v.54, n.1, p. 38–46, 2008.

WIMMER M. A., ABREU I., BELL R. W., BIENERT M. D., BROWN P. H., DELL B., FUJIWARA T., GOLDBACH H. E., LEHTO T., MOCK H. P., WIRÉN N. V., BASSIL E., BIENERT G. P. Boron: and essential element for vascular plants. **New Phytologist**, [s. l.], v. 226, p.1232-1237, 2019.

XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; GUEDES, R. E. Inoculante. [S. l.: s. n.], **Agência EMBRAPA de informação tecnológica**, 2005.

YAN, N.; ZHANG, Y. L.; XUE, H. M.; ZHANG, X. H.; WANG, Z. D., SHI, L. Y.; GUO, D. P. Changes in plant growth and photosynthetic performance of *Zizania latifolia* exposed to different phosphorus concentrations under hydroponic condition. **Photosynthetica**, v. 53, p. 630–635, 2015.

YONEYAMA, T.; SUZUKI, A. Exploration of nitrate-to-glutamate assimilation in non-photosynthetic roots of higher plants by studies of ¹⁵N-tracing, enzymes involved, reductant supply, and nitrate signaling: A review and synthesis. **Plant Physiol Biochem.**, Prague, v. 136, p. 245-254, 2019.

ZOZ, T.; SERON, C. C.; OLIVEIRA, C. E. S.; ZANOTTO, M. D.; BONO, J. A. M.; AGUIAR, E. B.; WITT, T. W. Growth of dwarf castor hybrids at different soil bulk densities. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 159, p.113069, 2021.

APÊNDICE

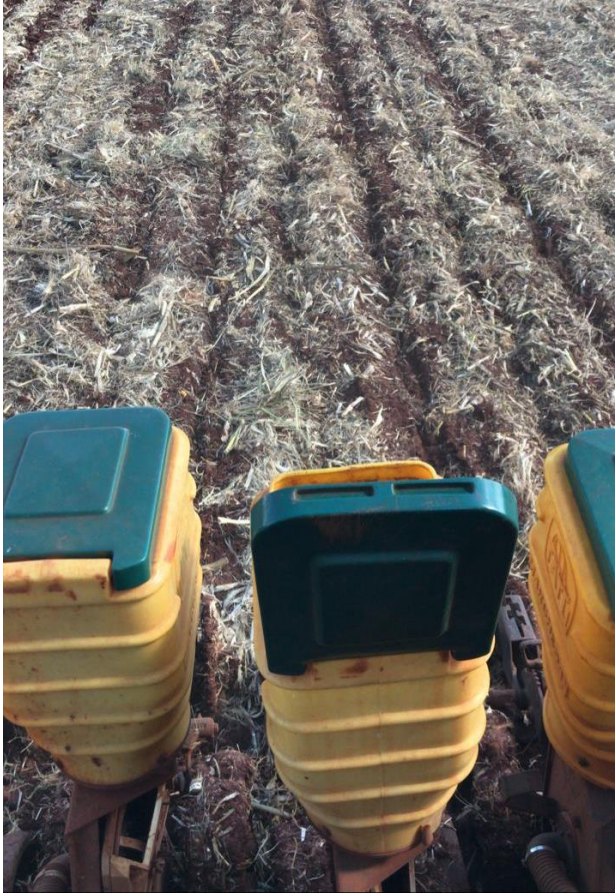


Figura 13. Plantio dos experimentos.

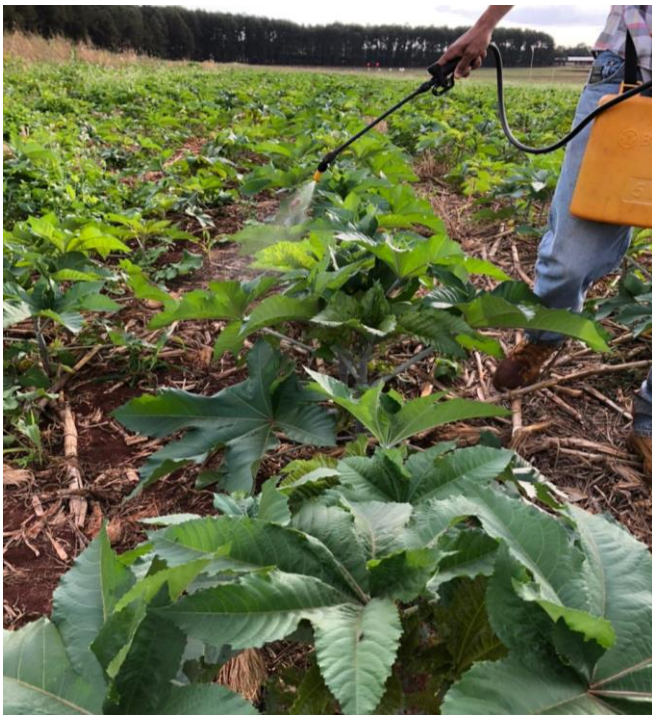


Figura 14. Aplicação das bactérias promotoras de crescimento de plantas via foliar.



Figura 15. Foto aérea dos experimentos de mamona (área pós gramíneas).



Figura 16. Colheita dos experimentos.