



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

MAGALY MORGANA LOPES DA COSTA

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM FEIJÃO-CAUPI COM FONTES DE FOSFITO

AREIA

2026

MAGALY MORGANA LOPES DA COSTA

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM FEIJÃO-CAUPI COM FONTES DE FOSFATO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, Área de concentração Agricultura Tropical.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Cordeiro do Nascimento

Coorientador: Prof. Francisco Thiago Coelho Bezerra

AREIA

2026

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C838i Costa, Magaly Morgana Lopes da.
Indução de resistência em feijão-caupi com fontes de
fosfito / Magaly Morgana Lopes da Costa. -
Areia:UFPB/CCA, 2026.
109 f. : il.

Orientação: Luciana Cordeiro do Nascimento.
Coorientação: Francisco Thiago Coelho Bezerra.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Vigna unguiculata (L.) Walp. 3.
Estresse abiótico. 4. Estresse biótico. 5. Atividade
enzimática. I. Nascimento, Luciana Cordeiro do. II.
Bezerra, Francisco Thiago Coelho. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635(043.2)

MAGALY MORGANA LOPES DA COSTA

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM FEIJÃO-CAUPI COM FONTES DE FOSFITO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, Área de concentração Agricultura Tropical.

Aprovado em: 29/08/2025

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **LUCIANA CORDEIRO DO NASCIMENTO**
Data: 19/01/2026 07:15:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr. Luciana Cordeiro do Nascimento
Orientadora
(PPGAgro/UFPB/CCA)

Documento assinado digitalmente
 **FRANCISCO THIAGO COELHO BEZERRA**
Data: 19/01/2026 21:29:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco Thiago Coelho Bezerra
Coorientador
(UVA/CCAB)

Documento assinado digitalmente
 **ANANDA ROSA BESERRA SANTOS**
Data: 19/01/2026 23:13:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dra. Ananda Rosa Beserra Santos
1^a Examinadora
(UVA/CCAB)

Documento assinado digitalmente
 **FABIO MIELEZRSKI**
Data: 20/01/2026 09:08:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fábio Mielezrski
2^o Examinador
(PPGAgro/UFPB/CCA)

Documento assinado digitalmente
 **EDCARLOS CAMILO DA SILVA**
Data: 20/01/2026 21:29:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Edcarlos Camilo da Silva
3^o Examinador
(PPGAgro/UFPB/CCA)

À minha avó, cuja lembrança permanece como luz em meu coração, e à minha mãe, presença constante de amor e força, a quem devo a coragem de seguir em frente e a esperança de nunca desistir.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meu caminho, renovar minhas forças nos momentos de fraqueza e me conceder a graça de chegar até aqui, minha eterna gratidão.

À minha mãe Wilza Lopes, exemplo de amor e perseverança, minha eterna gratidão por sempre acreditar, incentivar e não desistir de mim. Essa conquista é sua!

À minhas amadas, Vovó e tia Ubiratânia e meu avô, que não estão mais nesse plano, vocês são meus maiores exemplos de resiliência e amor, com vocês aprendi o que é a vida e a valorizá-la, obrigada por tudo.

A toda minha família, em especial a meu irmão Paulo, minhas tias e tios e meus sobrinhos Clara e Heitor por todo carinho e amor que tens por mim, o amor de vocês recarrega minha vida.

Ao meu amor, José Bruno Malaquias, por ser meu porto seguro nos dias de aflição e minha força nos dias de coragem, obrigada por me mostrar que eu posso ir além do que imaginava.

A minha Orientadora Luciana Cordeiro e meu coorientador Francisco Thiago por todo ensinamento, dedicação, apoio e paciência, vocês foram essenciais em minha formação pessoal e profissional, minha eterna gratidão.

A Shirley, um presente do doutorado e agora irmã para a vida, sua irmandade e compreensão foram essenciais para tornar essa caminhada leve.

As amigas Thamillys, Alaine, Marianna, Jussara, Rayane e aos amigos Matheus, Kelson, Tulio e a todos que ajudaram nessa caminhada, vocês foram essenciais para a execução desse trabalho, a vocês gratidão.

A família Aguiar, em nome de Suzana, agradeço pelo carinho e pela doação das sementes.

Aos funcionários da Chã de Jardim, Jojó e Xuriu, que auxiliaram com os experimentos de campo, a Jandira do laboratório de Fruticultura e a todos que ajudaram, obrigada!

A todos que fazem parte do LAFIT e tiraram um tempinho, para ajudar nos experimentos, agradeço a Hilderlande Florêncio, Edcarlos Camilo, Dona Francisca, Andressa Lima, Analberto Oliveira, Silvana Nunes, Matheus Cardoso, Robson Monteiro, Gabriela Monteiro, Kayonara Kadrini, Clint Wayne, Katia Albuquerque, Severino Neto, Mirelly Coêlho, Adiel Cruz, Jakeline Florêncio, meu muito obrigada.

COSTA, M. M. L. **Indução de resistência em feijão-caupi com fontes de fosfito.** 111f. Universidade Federal da Paraíba (Doutorado em Agronomia). Areia, PB. 2025.

RESUMO GERAL

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma cultura com importância socioeconômica para agricultores. Contudo, sua produção é comprometida pela ocorrência de fitopatógenos e pela salinidade da água de irrigação. Buscando reduzir prejuízos, fontes de fosfito vêm sendo utilizadas como indutores de resistência a esses estresses. O objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes fontes de fosfito como indutores de resistência a estresse bióticos e abióticos em plantas de feijão-caupi. Para a determinação da eficiência de diferentes doses e fontes de fosfito no controle *in vitro* de *Fusarium* sp. e na indução de resistência na cultura, foram utilizados fosfito de cobre, de magnésio, de cálcio, de manganês, Ranger® e Titanium®, nas doses 0, 150, 300, 450, 600, 750 e 900 mg de P₂O₅ L⁻¹, respectivamente, e um tratamento adicional com os fungicidas. No experimento *in vitro*, foram avaliados o índice de velocidade de crescimento micelial, o percentual de inibição do crescimento micelial, esporulação e percentual de inibição da esporulação. No experimento *in vivo* as sementes foram tratadas, inoculadas e semeadas, permanecendo por 31 dias para avaliação das características morfoagronômicas, fisiológicas, taxa de infecção e atividade das enzimas peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase. No segundo experimento, foram avaliadas a aplicação das fontes de fosfito de cálcio, cobre, manganês e Titanium® como indutores de resistência a estresses biótico e abiótico em feijão-caupi, uma testemunha e os fungicidas. As sementes foram tratadas e inoculadas com *Fusarium* sp. e semeadas, os tratamentos também foram aplicados via foliar. Foram avaliados o pH e a condutividade elétrica da água drenada, as características morfoagronômicas, fisiológicas, atividade enzimática, taxa de infecção e produtividade. No terceiro experimento foi avaliado o efeito dos diferentes fosfitos, utilizadas no primeiro experimento, na indução de resistência à antracnose em feijão-caupi, o experimento foi realizado na área experimental Chã-de-Jardim nas safras 2023 e 2024. Os tratamentos foram aplicados apenas via foliar. Foram avaliadas na floração, os parâmetros fisiológicos, a atividade enzimática, a severidade da antracnose, realizada a cada sete dias após o surgimento natural dos primeiros sintomas e ao fim dos ciclos as produtividades. No experimento *in vitro* o Titanium®, foi eficiente na inibição do crescimento micelial e na esporulação de *Fusarium* sp.. No experimento *in vivo* as fontes de fosfito apresentaram eficiência na redução da taxa de infecção das plantas inoculadas com *Fusarium* sp. e os fosfito de cobre e cálcio apresentaram incremento na atividade da peroxidase quando comparado ao tratamento controle com fungicida. No segundo experimento, as plantas irrigadas com água com condutividade 3,0 dS m⁻¹ e inoculadas com *Fusarium* sp. reduziram a atividade da clorofila, a fluorescência da clorofila *a* e apresentaram maior atividade da enzima peroxidase. As plantas inoculadas e tratadas com as fontes de fosfito de cálcio, manganês e Titanium® apresentaram maior atividade da enzima peroxidase. Em campo, os fosfitos Ranger® e magnésio aumentaram os valores de produtividade nas duas safras, todos as fontes de fosfito apresentaram potencial de controle da severidade da antracnose e os fosfitos de cobre, Ranger® e manganês apresentaram maior atividade da peroxidase.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp.; estresse abiótico; estresse biótico; atividade enzimática.

COSTA, M. M. L. **Induction of resistance in cowpea with phosphite sources.** 111f. Federal University of Paraíba (Doctorate in Agronomy). Areia, PB. 2025.

GENERAL ABSTRACT

Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is a crop of socioeconomic importance to farmers. However, its production is compromised by the occurrence of phytopathogens and the salinity of irrigation water. Seeking to reduce losses, phosphite sources have been used as inducers of resistance to these stresses. The objective of this work was to evaluate the efficiency of different phosphite sources as inducers of resistance to biotic and abiotic stresses in cowpea plants. To determine the efficiency of different doses and sources of phosphite in the *in vitro* control of *Fusarium* sp. and in inducing resistance in the crop, copper, magnesium, calcium, manganese, Ranger®, and Titanium® phosphites were used at doses of 0, 150, 300, 450, 600, 750, and 900 mg P₂O₅ L⁻¹, respectively, and an additional treatment with the fungicides was applied. In the *in vitro* experiment, the mycelial growth rate index, the percentage of mycelial growth inhibition, sporulation, and the percentage of sporulation inhibition were evaluated. In the *in vivo* experiment, seeds were treated, inoculated, and sown, remaining for 31 days for evaluation of morpho-agronomic and physiological characteristics, infection rate, and activity of the enzymes peroxidase, polyphenol oxidase, and phenylalanine ammonia-lyase. In the second experiment, the application of calcium phosphite, copper, manganese, and Titanium® sources as inducers of resistance to biotic and abiotic stresses in cowpea, a control, and fungicides were evaluated. Seeds were treated and inoculated with *Fusarium* sp. and sown; the treatments were also applied via foliar application. The pH and electrical conductivity of the drained water, morpho-agronomic and physiological characteristics, enzymatic activity, infection rate, and productivity were evaluated. In the third experiment, the effect of different phosphites used in the first experiment, on the induction of anthracnose resistance in cowpea was evaluated. The experiment was carried out in the Chã-de-Jardim experimental area during the 2023 and 2024 growing seasons. The treatments were applied only via foliar application. Physiological parameters, enzymatic activity, and anthracnose severity were evaluated at flowering, with measurements taken every seven days after the natural appearance of the first symptoms, and productivity was assessed at the end of the cycles. In the *in vitro* experiment, Titanium® was effective in inhibiting mycelial growth and sporulation of *Fusarium* sp. In the *in vivo* experiment, phosphite sources were effective in reducing the infection rate of plants inoculated with *Fusarium* sp., and copper and calcium phosphite showed an increase in peroxidase activity when compared to the fungicide control treatment. In the second experiment, plants irrigated with water with a conductivity of 3.0 dS m⁻¹ and inoculated with *Fusarium* sp. showed reduced chlorophyll activity, chlorophyll fluorescence, and higher peroxidase enzyme activity. Plants inoculated and treated with calcium phosphite, manganese phosphite, and Titanium® showed higher peroxidase enzyme activity. In the field, Ranger® and magnesium phosphites increased productivity values in both growing seasons, all phosphite sources showed potential for controlling anthracnose severity, and copper, Ranger®, and manganese phosphites showed higher peroxidase activity.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp.; abiotic stress; biotic stress; enzymatic activity.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo II

- Figura 1 Crescimento micelial de *Fusarium* sp. em função de fontes e doses de fosfito..... 46

Capítulo III

- Figura 1 Valores médios de temperatura e umidade relativa do ar na casa-de-vegetação durante a condução do experimento..... 70
- Figura 2 Potencial hidrogeniônico da água drenada dos vasos com plantas de feijão-caupi inoculadas (I) e não inoculadas (NI) com *Fusarium* sp. submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹ e tratadas com diferentes fontes de fosfito..... 75
- Figura 3 Valores médios de Condutividade elétrica (CE) (A) da água drenada dos vasos com plantas de feijão-caupi inoculadas e não inoculadas com *Fusarium* sp. submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹ e tratadas com diferentes fontes de fosfito. Valores médios da quantidade de água requeridas pelas plantas na irrigação (B)..... 76
- Figura 4 Valores médios do Número de folhas (NF) em plantas de feijão-caupi inoculadas e não inoculadas com *Fusarium* sp. submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹ e tratadas com diferentes fontes de fosfito..... 76
- Figura 5 Valores médios de Condutividade elétrica (A) da água drenada dos vasos com plantas de feijão-caupi inoculadas (I) e não inoculadas (NI) com *Fusarium* sp. submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹. Valores médios da quantidade de água utilizada na irrigação (B). Relação Índice de clorofila Falker *a/b* (ICF *a/b*) de plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 ds m⁻¹ (C). Índice de clorofila Falker total (ICF *t*) de plantas de feijão-caupi inoculadas e não inoculadas com *Fusarium* sp. (D) e submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹ (E)..... 78
- Figura 6 Valores médios da Relação entre processos fotoquímicos e processos não fotoquímicos (Fv/F0) (A) e da Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (B) das plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹ e tratadas com diferentes fontes de fosfito..... 79

Figura 7	Valores médios da Condutância estomática (Gs), Resistência estomática (Rs), Concentração interna de carbono (Ci), Relação carbono interno sobre carbono atmosférico (Ci/Ca), Transpiração (E), Assimilação de CO ₂ (A), Eficiência instantânea do uso de água (EUA), Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e Eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) das plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m ⁻¹ , inoculadas (I) e não inoculadas (NI) e tratadas com diferentes fontes de fosfito.....	81
Figura 8	Valores médios da atividade enzimática Peroxidase das plantas de feijão-caupi inoculadas (I) e não inoculadas (NI) submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m ⁻¹	83
Figura 9	Valores médios da atividade enzimática da Peroxidase das plantas de feijão-caupi inoculadas (I) e não inoculadas (NI) com <i>Fusarium</i> sp. e tratadas com diferentes fontes de fosfito.....	83
Figura 10	Valores médios da produtividade de vagens mais sementes (V + S), produção de Vagem (V) e produção de Semente (S) de plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com condutividade 0,3 e 3,0 dS m ⁻¹	84
Capítulo IV		
Figura 1	Valores de Precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar registrados nos meses de condução do experimento em campo no município de Areia, Paraíba.....	96

LISTA DE TABELAS

Capítulo II

Tabela 1	Valores médios do Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM), Porcentagem de Inibição do Crescimento Micelial (PIC), Esporulação (E) e da Porcentagem de Inibição de Esporulação (PIE) de <i>Fusarium</i> sp. em função de fontes e doses de fosfito.....	47
Tabela 2	Valores médios de Comprimento da Parte Aérea (CPA), Comprimento da Raiz (CR), Diâmetro do Caule (DC), Volume da Raiz (VR) e Relação entre o Comprimento da Parte Aérea pelo Diâmetro do Caule (CPA/DC) de plantas de feijão caupi oriundas de sementes inoculadas com <i>Fusarium</i> sp. em função do tratamento com diferentes fontes e doses de fosfito.....	49
Tabela 3	Valores médios de Massa da Matéria Seca da Parte Aérea (MMSPA), Massa da Matéria Seca da Raiz (MMSR), Massa da Matéria Seca Total (MMST), Relação entre a Massa da Matéria Seca da Parte Aérea pela Massa da Matéria Seca da Raiz (MMSPA/MMSR) de plantas de feijão caupi oriundas de sementes inoculadas com <i>Fusarium</i> sp., em função do tratamento com diferentes fontes e doses de fosfito.....	51
Tabela 4	Índice de clorofila Falker <i>a</i> (ICF <i>a</i>), índice de clorofila Falker <i>b</i> (ICF <i>b</i>), índice de clorofila Falker total (ICF T), relação índice de clorofila Falker <i>a/b</i> (ICF <i>a/b</i>), Fluorescência inicial (F0), Relação entre processos fotoquímicos e processos não fotoquímicos (Fv/F0) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) de plantas de feijão caupi oriundas de sementes inoculadas com <i>Fusarium</i> sp. em função do tratamento com diferentes fontes e doses de fosfito.....	53
Tabela 5	Taxa de infecção (TI) em plantas de feijão caupi oriundas de sementes inoculadas com <i>Fusarium</i> sp. em função dos tratamentos com diferentes fontes e doses de fosfito.....	54
Tabela 6	Atividade da Peroxidase (POD), Polifenoloxidase (PPO) e Fenilalanina amônia-liase (PAL) em plantas de Feijão caupi oriundas de sementes inoculadas com <i>Fusarium</i> sp. em função do tratamento com diferentes fontes e doses de fosfito.....	55

Capítulo III

Tabela 1	Doses de fosfito e fungicidas de acordo com as recomendações do fabricante utilizada para tratar as sementes e aplicação via foliar nas plantas de feijão-caupi.....	67
Tabela 2	Análise química e fertilidade do solo utilizado para cultivo do feijão-caupi.....	70
Tabela 3	Resumo da análise de variância e contrastes para as variáveis Potencial hidrogeniônico (pH) e Condutividade elétrica da água drenada (CE), Água irrigada (Irrigação), Altura de plantas (Alt), Diâmetro de caule (Dm), relação altura pelo diâmetro do caule (Alt/Dm) e Número de folhas (NF) de plantas de feijão-caupi em função da água de irrigação e inoculação com <i>Fusarium</i> sp. e tratadas com fontes de fosfito.....	74
Tabela 4	Resumo da análise de variância e contrastes para as variáveis Índice de clorofila Falker <i>a</i> (ICF <i>a</i>), índice de clorofila Falker <i>b</i> (ICF <i>b</i>), índice de clorofila Falker total (ICF <i>t</i>), relação índice de clorofila Falker <i>a/b</i> (ICF <i>a/b</i>), Fluorescência inicial (Fo), Fluorescência média (Fm), Fluorescência variada (Fv), Relação entre processos fotoquímicos e processos não fotoquímicos (Fv/F0) e a Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) de plantas de feijão caupi em função da água de irrigação e inoculação com <i>Fusarium</i> sp. e tratadas com fontes de fosfito..	77
Tabela 5	Resumo da análise de variância e contrastes para as variáveis Condutância estomática (Gs), Resistência estomática (Rs), Concentração interna de carbono (Ci), Relação carbono interno sobre carbono atmosférico (Ci/Ca), Transpiração (E), Assimilação de CO ₂ (A), Eficiência instantânea do uso de água (EUA), Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e Eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) de plantas de feijão caupi em função da água de irrigação e inoculação com <i>Fusarium</i> sp. e tratadas com fontes de fosfito.....	80
Tabela 6	Resumo da análise de variância e contrastes para as variáveis Atividade da Peroxidase (POD), da Polifenoloxidase (PPO) e da Fenilalanina amônia-liase (PAL); Produção de vagens mais sementes (V + S), produção de Vagem (V) e produção de Semente (S) e Taxa de infecção (TI) em função da aplicação de fontes de fosfito em plantas de feijão-	82

caupi para mitigar o estresse causado pela água de irrigação e inoculação com *Fusarium* sp.....

Capítulo IV

Tabela 1	Atributos químicos (fertilidade) e físicos do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no plantio de feijão-caupi – Areia-PB.....	97
Tabela 2	Valores médios de produtividade total (vagens e grãos), de vagens e de grãos de feijão-caupi em função da aplicação de fontes de fosfíto para manejo da antracnose (<i>Colletotrichum</i> spp.) em duas safras de cultivo.....	102
Tabela 3	Valores médios de índices foliares de clorofila <i>a/b</i> (ICL <i>a/b</i>), Condutância estomática (Gs), Resistência estomática (Rs), Transpiração (E) de plantas de Feijão-caupi em função da aplicação de fontes de fosfíto para indução de resistência a antracnose em campo, nas safras de cultivo..	103
Tabela 4	Valores médios da área abaixo da curva de progresso da doença em plantas de feijão-caupi em função da aplicação de fosfíto para indução de resistência a antracnose (<i>Colletotrichum</i> spp.) nas safras de cultivo.....	104
Tabela 5	Valores médios da atividade enzimática da Peroxidase em plantas de feijão-caupi em função da aplicação de fosfíto para indução de resistência a antracnose (<i>Colletotrichum</i> spp.) nas safras de cultivo.....	104

SUMÁRIO

1 Capítulo I – INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM FEIJÃO-CAUPI COM FONTES DE FOSFITO	164
1.1 INTRODUÇÃO	15
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Geral.....	17
1.2.2 Específicos.....	17
1.3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
1.3.1 Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi.....	18
1.3.2 Fatores que afetam a produtividade do feijão-caupi	20
1.3.2.1 Doenças em feijão-caupi	20
1.3.2.2 Salinidade da água sobre o desenvolvimento das plantas	22
1.3.3 Fosfito como atenuador dos estresses bióticos e abióticos	23
REFERÊNCIAS	26
2 Capítulo II – INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA A <i>Fusarium</i> sp. EM FEIJÃO-CAUPI COM PRODUTOS À BASE DE FOSFITO.....	32
RESUMO	33
ABSTRACT.....	34
2.1 INTRODUÇÃO	35
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
2.2.1 Área de estudo e tratamentos	36
2.2.2 Obtenção do isolado de <i>Fusarium</i> sp.....	36
2.2.3 Experimento <i>in vitro</i>	37
2.2.4 Experimentos <i>in vivo</i>	37
2.2.5 Atividade enzimática	39
2.2.6 Taxa de infecção	40
2.2.7 Análise estatística e delineamento experimental	41
2.3 RESULTADOS.....	41
2.4 DISCUSSÃO	51
2.5 CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS	55
3 Capítulo III – FOSFITOS COMO ESTRATÉGIA PARA MITIGAR FUSARIOSE E ESTRESSE SALINO EM <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp	59
RESUMO	60
ABSTRACT.....	61
3.1 INTRODUÇÃO	62

3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	63
3.2.1	Local do experimento	63
3.2.2	Obtenção do isolado de <i>Fusarium</i> sp.....	63
3.2.4	Tratamentos.....	64
3.2.5	Irrigação com água salina	65
3.2.6	Avaliações morfoagronômicas	66
3.2.7	Avaliações fisiológicas	67
3.2.8	Determinação da atividade enzimática	67
3.2.8.1	Preparação do extrato enzimático	67
3.2.8.2	Atividade da Peroxidase (POD).....	68
3.2.8.3	Atividade da Polifenoloxidase (PPO)	68
3.2.8.4	Atividade da Fenilalanina amônia-liase (PAL).....	68
3.2.9	Produtividade	69
3.2.10	Taxa de infecção	69
3.2.11	Análise estatística	69
3.3	RESULTADOS.....	70
3.5	CONCLUSÃO	83
	REFERÊNCIAS	84
4	Capítulo IV – INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA A ANTRACNOSE EM FEIJÃO-CAUPI COM PRODUTOS À BASE DE FOSFITO.....	87
	RESUMO	88
	ABSTRACT.....	89
4.1	INTRODUÇÃO	90
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	91
4.2.2	Avaliações fisiológicas	94
4.2.4	Determinação da atividade enzimática de plantas de feijão-caupi tratadas com fontes de fosfito.....	95
4.2.4.1	Atividade da Peroxidase (POD).....	95
4.2.4.2	Atividade da Polifenoloxidase (PPO)	96
4.2.4.3	Atividade da Fenilalanina amônia-liase (PAL).....	96
4.2.5	Análise estatística	96
4.3	RESULTADOS.....	97
4.5	CONCLUSÃO	104
	REFERÊNCIAS	105

1 Capítulo I – INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM FEIJÃO-CAUPI COM FONTES DE FOSFITO

1.1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), conhecido também como feijão-de-corda, feijão macassar e feijão-fraldinho é uma leguminosa de ciclo curto, originária da África que tem uma ampla distribuição mundial. No Brasil ela ocorre em todas as regiões, com destaque para a região Nordeste, pelas condições edafoclimáticas favoráveis à sua produção (Borborema et al., 2025). Rico em vitaminas, aminoácidos, carboidratos, minerais e proteínas, o feijão-caupi é um alimento básico para a população, principalmente de baixa renda. Seu consumo, na maioria das vezes, é na forma de feijão-verde, mas também utilizam como forragem, silagem, feno e farinha (Nascimento et al., 2024).

De acordo com a CONAB (2024), no oitavo levantamento da safra 2024/25 a área plantada foi de 2792 mil hectares, com produtividade estimada de 1156 kg/ha e produção de 3228,9 mil toneladas no país. Entretanto, apesar de ser cultivada em quase todos os estados, seus níveis de produtividade ainda são inferiores ao seu potencial genético e produtivo (Oliveira et al., 2021) devido à ausência de tecnologias apropriadas nas áreas de produção.

A capacidade que a cultura tem de tolerar altas temperaturas, salinidade, baixas disponibilidade de água nos solos e adequada capacidade de fixação biológica de nitrogênio a torna capaz de ser cultivada nas regiões semiáridas e por agricultores familiares e comunidades tradicionais com restrição de tecnologias. Porém, esse cultivo pode trazer efeito negativo a médio e longo prazo, como redução na produtividade e doenças (Pinto et al., 2021).

Os fitopatógenos afetam negativamente a quantidade e qualidade da produção, estando entre os principais fatores limitantes da produtividade do feijão-caupi. Os fungos que causam manchas, murchas e podridões radiculares ocupam posição de destaque, podendo ser transmitidos por sementes de forma epifítica ou endofiticamente, como também podem ser disseminados pelo solo (Barros et al., 2021).

Dentre os fitopatógenos causadores de doenças na cultura temos o fungo *Macrophomina phaseolina* causador da podridão de caule e raiz (Gireesha et al., 2025), *Curvularia dactylocteniiicola* causador da mancha foliar (Bhuyan et al., 2024), com destaque para os fungos *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum* (Fot), um dos problemas mais importantes do feijão-caupi, esse patógeno invade o tecido vascular através do sistema radicular, causando murcha e clorose das folhas e, às vezes, atrofiamento da planta (Silva et al., 2021) e *Colletotrichum* spp. que são de difícil controle por sobreviverem em solos, plantas mortas e em sementes por alguns anos, além disso, *Colletotrichum* spp. é o agente causal da antracnose, doença que pode

acometer a cultura em pré e pós-emergência e ser facilmente disseminada dentro e entre os campos de produção por meio de respingos de chuva, irrigação e vento, exibindo sintomas que incluem estrias marrom-avermelhadas e lesões necróticas redondas a irregulares nas folhas, nos caules e vagens (Dada et al., 2025).

Outro fator que reduz a produtividade da cultura é a qualidade da água de irrigação, que muitas vezes tem alto teor de sais, na região Nordeste do Brasil. Para a produção durante todo o ano é necessária irrigação oriunda de poços artesianos, com altas concentrações de sais solúveis, o que pode limitar a produção, visto que o estresse salino reduz a disponibilidade de água para as plantas (Borborema et al., 2025).

Deste modo, é crucial a busca por estratégias que possibilitem o uso de água salina na agricultura, incluindo o uso elicitores de resistência que reduzam os efeitos deletérios do estresse salino. Existem relatos do uso da fertirrigação com potássio (Lima et al., 2022), da aplicação exógena de ácido salicílico, ácido giberélico, ácido ascórbico (Kathi et al., 2022) e da aplicação de fosfito de potássio (Atrash et al., 2023) para minimizar os efeitos nocivos do estresse salino, contudo ainda é necessário pesquisas sobre a utilização de fosfitos como mitigador da salinidade; além dos efeitos deletérios sobre patógenos. Diferentes fontes de fosfito podem atuar na nutrição, indução de resistência no hospedeiro e ser tóxico ao patógeno, além disso, apresentam baixo custo quando comparados com os fungicidas químicos tradicionais (Silva-Júnior et al., 2025).

A eficácia das fontes de fosfito como elicitor de resistência pode ser observada em algumas pesquisas, o fosfito de cálcio e cobre reduziu a severidade da murcha de fusarium (*Fusarium oxysporum*) em plantas de pimenta (*Capsicum annuum* L.) (Attia et al., 2025), o fosfito de potássio tem ação direta e indireta sob *Fusarium circinatum*, inibindo seu crescimento micelial *in vitro* e *in vivo* retardou a progressão da doença e alterou o estado fisiológico e ativou defesas de plantas de *Pinus radiata* (Cerqueira et al., 2017) e também apresentou atividade antifúngica direta na redução do crescimento micelial e germinação de *Colletotrichum lindemuthianum*, ativando as defesas da planta (Saldarriaga-Gómez et al., 2025).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Determinar a eficiência de fontes de fosfito na indução de resistência a fungos fitopatogênicos e ao estresse salino em plantas de feijão-caupi.

1.2.2 Específicos

Verificar o efeito de diferentes fontes e doses de fosfito sobre *Fusarium* sp. *in vitro* e em plantas de feijão-caupi;

Identificar os fungos associados às sementes de feijão-caupi tratadas com diferentes fontes e doses de fosfito.

Verificar a influência das diferentes fontes e doses de fosfito na germinação e emergência de plântulas de feijão-caupi;

Analisar a influência das fontes de fosfito na indução de resistência em plantas de feijão-caupi ao *Fusarium* sp. e ao estresse salino;

Determinar os efeitos da aplicação via foliar das diferentes fontes de fosfito nos aspectos produtivos e fisiológicos de plantas de feijão-caupi;

Avaliar em campo, a incidência e severidade da antracnose e a indução de resistência em plantas de feijão-caupi tratadas com diferentes fontes de fosfito.

1.3 REFERENCIAL TEÓRICO

1.3.1 Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) foi inicialmente classificado nos gêneros *Phaseolus* e *Dolichos*, só em 1894 Savi o classificou no gênero *Vigna*. Cientificamente é classificado como uma planta Dicotyledonea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, seção Catyang, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis*. No Brasil são cultivados os cultigrupos *Unguiculata* para produção de grão seco e feijão-verde e o *Sesquipedalis* para produção de vagem (EMBRAPA, 2022).

Originário da África, o feijão-caupi foi introduzido no Brasil pelo estado da Bahia na segunda metade do século XVI, por colonizadores portugueses, de onde se expandiu por todo País. Desde a fundação da Bahia como capital administrativa do Brasil, em 1549, o comércio com o Oeste da África, de Guiné a Angola trouxe grande variedade de feijões e favas para o país, os quais, em 1587, já eram cultivados na Bahia dentre eles as evidências são fortes da presença do feijão-caupi (Freire Filho et al., 2011).

Com vários nomes populares, o feijão-caupi foi disseminado para todas as regiões do Brasil, ficando conhecido como feijão-macassa e feijão-de-corda, na região Nordeste; feijão-miúdo, na região Sul; na região Norte temos o feijão-de-praia, feijão-de-estrada, feijão-da-colônia e feijão manteiguinha, este último sendo muito importante para a culinária local, tem grãos de cor creme, muito pequenos. O feijão-caupi é também chamado de feijão-gurutuba e feijão-catador em algumas regiões do Estado da Bahia e norte de Minas Gerais (Freire Filho et al., 2011).

De importância social, econômica e nutricional por constituir um dos componentes da dieta alimentar, especialmente em regiões tropicais e subtropicais que apresentam instabilidade pluviométrica e baixo nível tecnológico, o feijão-caupi é cultivado em todo Brasil, sobretudo nas regiões Norte e Nordeste, que são responsáveis por 75% da produção nacional, sendo o segundo feijão mais cultivado no país (IBRAFE, 2022). É amplamente cultivado por pequenos produtores, devido seu baixo custo de produção e boa capacidade de tolerar às condições de baixa disponibilidade de água nos solos, altas temperaturas e relativa tolerância à salinidade. É uma das espécies cultivadas principalmente através de sementes crioulas ou tradicionais, que

são as sementes de variedade local, conservadas, selecionadas e manejadas por agricultores familiares ou povos tradicionais ao longo dos anos (Pinto et al., 2021).

Culturalmente, sua produção é dividida entre grãos que são comercializados e sementes que são utilizadas no próximo ciclo da cultura, uma realidade de países em desenvolvimento, em que a maioria dos agricultores estão envolvidos em todo o processo de produção da cultura, desde o plantio até a venda ou troca na comunidade local. Este fato acarreta perdas de rendimento da cultura, principalmente pela proliferação de doenças, incluindo as que são transmitidas por sementes (Sobrinho et al., 2023).

Seu grão tem alto valor biológico alimentar, devido a seu elevado valor nutricional, em que contém de 20 a 29% de proteínas, 56 a 74% de amido e uma alta concentração de minerais, vitaminas e fibras alimentares, além de possuir uma quantidade reduzida de lipídios, em torno de 2% (Gondwe et al., 2019), garantindo segurança alimentar e renda para agricultores que enfrentam desafios climáticos. Além disso, seu rápido crescimento vegetativo, reduz a capacidade de erosão do solo, por recobrir a superfície rapidamente, possui capacidade de fixação biológica (Batista et al., 2012), como também pode ser utilizado como forragem verde, feno, silagem, farinha para alimentação animal e como adubação verde (Rocha et al., 2009).

No mundo, segundo a FAO (2023) a área plantada de feijão foi de 37,7 milhões de hectares e a produção foi de 28,5 milhões de toneladas, ficando a região com maior produção a Ásia com 44,1%, seguida da África e Américas com 29,2 e 24,9%, respectivamente. O Brasil é o segundo país com maior produção mundial, produzindo 2,8 milhões de toneladas, ficando atrás apenas da Índia que produziu 6,4 milhões de toneladas e em terceiro lugar encontra-se Myanmar com 2,6 milhões de toneladas (FAO, 2023).

Na safra 2023/2024 o Brasil teve uma área plantada de feijão-caupi de 1.276,7 mil hectares, com produção de 647,1 mil toneladas e uma produtividade de 507 quilogramas por hectare. Desse total, o Nordeste teve uma produção de 430,6 mil toneladas e uma produtividade em de 405 kg/ha, na Paraíba a produtividade foi de 335 kg/ha e a produção foi de 25,1 mil toneladas (FAO, 2023). A produtividade da cultura ainda é inferior ao seu potencial genético (Oliveira et al., 2021), devido a fatores como o manejo inadequado e a falta de políticas públicas (Bezerra et al., 2014) que busquem minimizar os danos causados por fatores bióticos e abióticos (Barbosa et al., 2021; Sobrinho et al., 2023).

1.3.2 Fatores que afetam a produtividade do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma planta considerada adaptada às condições climáticas áridas e semiáridas devido às suas características de rusticidade e precocidade, constituindo uma das principais culturas cultivadas no Nordeste do Brasil (Sá et al., 2021), entretanto fatores bióticos, como doenças causadas por fungos (Sobrinho et al., 2023) e abióticos, como déficit hídrico e salinidade, (Sá et al., 2021; Borborema et al., 2025) podem reduzir o desenvolvimento e produtividade da cultura.

O estresse salino é um grande estresse abiótico na produção agrícola mundial, que limita o rendimento e a qualidade das colheitas, além do estresse abiótico, as plantas também lutam contra vários estresses bióticos causados por fitopatógenos, como fungos, bactérias, nematoides e vírus. Dentre estes, os fungos fitopatogênicos são os principais fatores bióticos que causam doenças devastadoras nas plantas (Liu et al., 2023).

1.3.2.1 Doenças em feijão-caupi

As doenças estão entre os fatores limitantes da produtividade do feijão-caupi, afetando negativamente a quantidade e qualidade da produção (Oliveira et al., 2021), especialmente as causadas por fungos pois diminuem a qualidade fisiológica, nutricional e sanitária do produto colhido, afetando seu comércio.

Os fungos fitopatogênicos podem causar manchas, murchas e podridões radiculares, que podem sobreviver no solo e em restos culturais e ser disseminados principalmente pelo solo e sementes. As principais doenças fúngicas que acometem essa cultura são a Murcha de fusário (*Fusarium* spp.) (Demartelaere et al., 2021) a antracnose (*Colletotrichum* spp.), a podridão do colo (*Sclerotium rolfsii*) (Benchimol et al., 2021), a podridão cinzenta do caule (*Macrophomina phaseolina*) (Oliveira et al., 2021), a mela ou murcha-da-teia-micélica (*Rhizoctonia solani*) (Schurt et al., 2017), que podem acontecer em todo o ciclo da cultura. Dentre essas doenças a antracnose e a murcha de fusarium são de grande importância por causar perdas significativas para a cultura.

A antracnose ocorre em todo o Brasil, podendo ser causada por diferentes espécies de *Colletotrichum*, sendo *Colletotrichum truncatum*, *C. lindemuthianum* e *C. gloeosporioides* as mais relevantes. Ocorre em todos os estádios da cultura, se intensificando a partir do período de floração, quando tem seus sintomas mais característicos até o final do ciclo (Benchimol et

al., 2021). O fungo prefere condições de alta umidade por períodos prolongados, sendo capaz de causar perdas consideráveis na produtividade, limitando a produção e qualidade sanitária das sementes.

As sementes são as principais formas de transmissão e sobrevivência do patógeno, outros métodos de sobrevivência e transmissão são restos culturais, vento e água (Dada et al, 2025). Os sintomas da doença podem ser observados em toda a parte aérea, na forma de lesões necróticas escuras, cor de café, de tamanho variado, que aparecem nos pecíolos e nervuras das folhas (Benchimol et al., 2021), comprometendo o processo fotossintético.

As doenças causadas por *Fusarium* spp. incluem murchas vasculares, tombamento de plântulas, podridões de coroa e de raízes. A maioria dos isolados apresenta especificidade ao hospedeiro, razão pela qual mais de 100 *formae speciales* e raças já foram descritas. O gênero *Fusarium* inclui alguns dos patógenos de plantas de maior importância científica e econômica. Em escala global, *Fusarium* spp. é conhecido por causar perdas significativas em culturas agrícolas (Wamalwa et al., 2018).

Fusarium apresenta macro e microconídios; os macroconídios originam-se de fiálides isoladas ou agrupadas em massas, crescendo diretamente do micélio vegetativo ou em esporodóquios, são hialinos, geralmente septados e possuem diferenças entre as células apical e basal que são alongadas e pediceladas, respectivamente, enquanto os microconídios são produzidos em fiálides curtas, longas ou ramificadas, podendo ser solitários ou em cadeias. Os clamidósporos podem estar presentes ou ausentes (Leslie; Summerell, 2006).

Os clamidósporos são estruturas de sobrevivência e disseminação do patógeno, que dificultam sua erradicação da área, pois conseguem sobreviver no solo com a ausência de plantas hospedeiras. Esse agente etiológico é um fungo de solo que pode ser introduzido em novas áreas por meio de sementes contaminadas, restos culturais infectados ou ainda por implementos agrícolas contendo estruturas do patógeno (Jiménez-Díaz et al., 2015).

A murcha de fusarium causada por *Fusarium oxysporum*, ocorre em todo o ciclo do feijão-caupi, sendo mais comum na fase reprodutiva e está presente em praticamente todas as regiões onde se cultiva a cultura. Ataca o sistema vascular da planta, impedindo o fluxo normal da seiva bruta através dos vasos do xilema, resultando em sintomas como murcha, clorose e queda das folhas, causa redução no crescimento em plantas jovens, e nanismo em plantas mais desenvolvidas, a clorose precede a queda das folhas e murcha em toda a planta, que podem evoluir para morte. Observa-se também uma coloração castanha dos feixes vasculares, sinal da colonização necrotóxica do patógeno nos tecidos condutores. Seu crescimento é favorecido por temperaturas entre 21 e 33 °C (Amorim et al., 2016).

A espécie *F. oxysporum* é a espécie mais amplamente distribuída, podendo ser isolada da maioria dos solos (Wamalwa et al., 2018). Esse gênero apresenta alta variabilidade genética que resulta na maior dificuldade de controle, sendo necessária a combinação de múltiplas medidas de manejo para obtenção de um controle efetivo (Demartelaere et al., 2021).

1.3.2.2 Salinidade da água sobre o desenvolvimento das plantas

A salinidade da água é um problema global e no Brasil afeta principalmente a região Nordeste, devido a qualidade e quantidade de água de irrigação, que muitas das vezes são provenientes de poços artesianos, com altos teores de sais solúveis, o que irá reduzir a disponibilidade da água para a planta e, conseqüentemente, reduzir a produção (Borborema et al., 2025). Ademais, o excesso de sais pode causar degradação do solo devido a seu acúmulo, cerca de 20% das terras cultivadas estão afetadas por sais, e estima-se que essa proporção aumente em 50% daqui a 30 anos, devido as mudanças climáticas e a ação do homem (Ge et al., 2022).

Plantas irrigadas com água salina tem o crescimento reduzido por duas razões: primeiro a salinidade provoca um efeito osmótico que reduz a absorção de água e a segunda está relacionada ao efeito específico dos íons ou ao excesso, que eventualmente entram no fluxo de transpiração e causam injúrias nas folhas, reduzindo o crescimento ou a absorção de elementos essenciais (Oliveira et al., 2013).

Quando o potencial osmótico da solução do solo é reduzido, induz o fechamento dos estômatos, a redução na taxa de assimilação de CO₂ e na transpiração, além de causar degradação de pigmentos e peroxidação lipídica das membranas (Ramos et al., 2022). Fator comum em regiões como o semiárido, que enfrenta problemas com o acúmulo de sais no solo devido à baixa incidência de chuvas e à ausência de lixiviação dos sais no perfil do solo (Sá et al., 2016).

O uso de água salina ocasiona na cultura o retardamento da floração, abortamento de flores e, nas fases fenológicas, afeta negativamente a altura da planta, fotossíntese, transpiração, condutância estomática e a temperatura foliar da cultura (Borborema et al., 2025). Plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com água salina apresentaram redução da massa seca da parte aérea, área foliar e índice de área foliar das plantas na fase inicial de crescimento (Silva et al., 2021). Guimarães et al. (2023) observou redução na qualidade e produtividade do feijão-caupi submetidas a irrigação com água salina.

As plantas mitigam os efeitos negativos do estresse salino aumentando as enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT) para remover o excesso de espécies reativas de oxigênio (ROS). Eles também acumulam compostos orgânicos de baixo peso molecular (açúcares, glicina betaína e prolina), proteínas solúveis e chaperonas moleculares (proteínas de choque térmico, HSPs), alteram o transporte de íons e a compartimentação vacuolar e induzem hormônios vegetais como ácido indol-3-acético (IAA), ácido abscísico (ABA), etileno, ácido salicílico (AS) e ácido jasmônico (JA), para neutralizar o estresse salino (Liu et al., 2023).

O feijão-caupi tem sido considerado uma das leguminosas moderadamente tolerantes à seca e a salinidade (Sá et al., 2016; Merwad et al., 2018; Carvalho et al., 2019). Contudo, o aumento da irrigação com água salina está elevando a salinização do solo, reduzindo o desenvolvimento de plantas e o rendimento da cultura (Paiva et al., 2018). Estudos utilizando elicitores de resistência, como o fósforo, vem sendo testados como mitigadores dos efeitos da salinidade da água, contudo ainda são escassos estudos sobre o uso de fontes de fosfito.

1.3.3 Fosfito como atenuador dos estresses bióticos e abióticos

Fatores ambientais, genéticos e fitossanitários estão relacionados a baixa produtividade média do feijão-caupi, evidenciando a necessidade de pesquisas que resultem em tecnologias viáveis para os agricultores e que minimizem os danos causados por esses fatores (Borborema et al., 2025).

Nos últimos anos, os fitorreguladores vem sendo utilizados como técnicas agronômicas para minimizar os efeitos desses estresses e otimizar a produção de diversas culturas. Bioestimulantes vegetais são combinações de diferentes biorreguladores e de biorreguladores com outras substâncias que aplicados de modo exógeno, possuem ações similares aos grupos de hormônios vegetais conhecidos (Oliveira et al., 2015).

O fosfito vem sendo utilizado na produção agrícola com ação fungicida, bioestimulante e fertilizante, por ser uma fonte com baixa toxicidade ambiental e representa riscos mínimos para animais e humanos (Havlin; Schlegel, 2021). Como bioestimulante, o fosfito aumenta a absorção e assimilação de nutrientes e aumenta a tolerância ao estresse biótico e abiótico (Mohammadi et al., 2021).

Os fosfitos podem afetar os patógenos tanto direta, rompendo suas hifas, inibindo o crescimento micelial e a esporulação, quanto indiretamente, estimulando vários mecanismos de

defesa da planta, e até mesmo o fortalecimento das barreiras naturais dos tecidos, através do aumento da produção de lignina, podendo influenciar a produção de compostos fenólicos tóxicos para patógenos na ausência do patógeno (Costa et al., 2018). Seus diferentes modos de ação diminuem o risco de resistência de patógenos aos fosfitos e estes podem ser translocados na planta tanto pelo xilema como pelo floema (Silva Júnior et al., 2021; Li et al., 2025).

Em feijão-comum (*Phaseolus vulgaris*) a aplicação de fosfito de zinco e cobre aumentou a atividade de enzimas de defesa da planta, reduzindo os sintomas do mofo-branco (Fagundes-Nacarath et al., 2018), ainda em feijão-comum a aplicação de fosfito de potássio aumentou a atividade enzimática e reduziu os efeitos da infecção por *Colletotrichum lindemuthianum* (Costa et al., 2018). Fosfito de potássio inibiu o crescimento e a densidade micelial *Fusarium solani* do maracujazeiro (Rocha et al., 2016). Sementes de soja tratadas com fosfitos de potássio e manganês reduziram o tombamento de *Pythium* (Carmona et al., 2018).

Na tolerância a estresses abióticos, a utilização de fosfito foi eficiente na mitigação do déficit hídrico, radiação UV e choque térmico em diferentes culturas, (Gómez-Merino; Trejo-Téllez, 2015; Xi et al., 2020) porém ainda não se tem relatos da aplicação de fosfito como mitigador do estresse salino, sendo de suma importância um estudo sobre esse estresse.

1.3.4 Enzimas relacionadas a defesa da planta

A resistência induzida é um estado fisiológico de capacidade defensiva aumentada das plantas contra o ataque de patógenos como fungos, bactérias, vírus e nematoides, desencadeado por estímulos abióticos e/ou bióticos, em que as defesas basais da planta são induzidas contra desafios bióticos subsequentes, essa resistência induzida é sinalizada pelos hormônios etileno e ácido jasmônico (Nascimento et al., 2016).

Os compostos produzidos pelas plantas por meio da indução de resistência possuem efeitos variados nestes organismos, como formação de substâncias tóxicas, produção de barreiras estruturais, restrição no desenvolvimento de agentes indutores de injúrias e expressão de genes relacionados à manifestação das mais variadas formas de resistência (Siqueira et al., 2019).

A eficácia dos fosfitos no controle de fitopatógenos na via indireta esta relacionada ao aumento da resistência da planta (Morales-Morales et al., 2022). O fosfito atua de acordo com sua concentração, quando baixa induz a síntese de enzimas de defesa do hospedeiro como as fitoalexinas e compostos fenólicos, quando em altas concentrações inibem o crescimento do patógeno. O aumento nas atividades de peroxidase (POD), polifenoloxidase (PPO) e

fenilalanina amônia-liases (PAL) é um dos mecanismos de defesa mais comuns e eficientes ativados após o reconhecimento de um patógeno pelo hospedeiro (Nascimento et al., 2016).

A função da peroxidase na indução de resistência está associada ao seu envolvimento na lignificação, suberização e metabolismo da parede celular (Gadaga et al., 2017). O acréscimo da polifenoloxidase aumenta as barreiras físicas contra o ataque de patógenos, pois participa do processo de oxidação de compostos fenólicos, contribuindo com a biossíntese da lignina, aumentando a resistência da parede celular dos tecidos vegetais (Brito, 2022).

A fenilalanina amônia-liase está envolvida na primeira etapa da via fenilpropanoide, convertendo L-fenilalanina em ácido trans-cinâmico. Durante o processo de lignificação da parede celular, todos os fenólicos transportados para essa região tem o potencial de ser esterificada ou incorporada a lignina (Garcés-Fiallos et al., 2022).

A aplicação de fosfito induziu respostas de defesa microscópicas à infecção por *C. fimbriata*, como o acúmulo de compostos fenólicos, a formação de uma barreira antifúngica e a rápida deposição de tiloses impregnadas com fenólicos, como também potencializou a síntese dos alcaloides teobromina e 7-metilxantina e dos fenólicos catequina, epicatequina, epigallocatequina, ácido gálico, miricetina, ácido *p*-cumárico, ácido *p*-hidroxibenzoico, floridzina, ácido sinapínico e ácido salicilhidroxâmico nos tecidos do caule da mangueira (Araujo et al., 2015).

Gadaga et al. (2017), aplicando fosfito potássio e manganês, observaram um incremento na atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase em plantas de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) inoculadas com *Colletotrichum limdemuthianum*. Também foi relatado incremento na atividade das enzimas peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase em plantas de feijoeiro comum, inoculadas com *Sclerotinia sclerotiorum* e tratadas com fosfito (Fagundes-Nacarath et al., 2018). Camochena et al (2020) aplicando fosfitos para o controle do mofo branco da soja obteve maior atividade das enzimas peroxidase e fenilalanina amônia-liase e foram mais efetivos no controle da doença em campo.

O tratamento com fosfito aumenta a capacidade antioxidante e induz a resistência da planta com preservação da eficiência fotossintética (Resende et al., 2021).

REFERÊNCIAS

- AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. **São Paulo: Agronômica Ceres**, v. 2, p. 5, 2016.
- ARAUJO, L., BISPO, W.M.S, RIOS, V.S., FERNANDES, S.A. e RODRIGUES, F.A. A indução da via fenilpropanóide por acibenzolar-s-metil e fosfito de potássio aumenta a resistência da manga à infecção por *Ceratocystis fimbriata*. **Plant Disease**, v. 99, p. 447-459, 2015.
- ATTIA, M.; EL BAKKALI, H.; ELSAYED, S. E. M.; ELSAYED, M. M.; NOUH, M. A.; ELGIZAWY, K. E. K.; ALI, M. M. Dramatic therapeutic potential of phosphite-induced resistance against Fusarium wilt in pepper plant. **Journal of Plant and Food Science**, v. 3, n. 1, p. 55–66, 2025.
- ATRASH, S.; SHAMILI, M.; MIRZAALIAN DASTJERDI, A.; GOUDARZI, A.; BAGHERI, A. The impact of potassium phosphite on growth parameters and antioxidant activities of lime (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle) under salinity conditions. **Iranian Journal of Horticultural Science and Technology**, v. 24, n. 4, p. 469–484, 2023.
- BARBOSA, I. J.; SOUSA, H. C.; SCHNEIDER, F.; SOUSA, G. G. D.; LESSA, C. I.; SANÓ, L. Mulch with sugarcane bagasse and bamboo straw attenuates salt stress in cowpea cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n.7, p. 485–491, 2021.
- BARROS, S. C. S.; CASTRO, W. C. P.; WERNER, H. A.; MORAIS, K. G. B.; ESTEVES, M. P. C.; NUNES, T. L.; CRUZ, H. T. G.; AZEVEDO, R.; PAMPLONA, V. M. S.; QUADROS, B. R. Qualidade de sementes de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) produzidas em Paragominas, Pará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, e114101623161, 2021.
- BATISTA, N. A. S.; LUZ, P. B. D.; PAIVA SOBRINHO, S. D.; NEVES, L. G.; KRAUSE, W. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi pelo teste de condutividade elétrica. **Revista Ceres**, v. 59, n. 4, p.550-554, 2012.
- BENCHIMOL, R. L.; FREIRE FILHO, F. R.; GOMES JÚNIOR, R. A.; RODRIGUES, J. E. L. F.; SILVA, C. M.; CARDOSO, R. S.; ROSÁRIO, R. G. A.. **Doenças fúngicas do feijão-caupi no estado do Pará**. Circular Técnica. Embrapa. 2021.
- BEZERRA, A. A. C.; NEVES, A. C.; ALCÂNTARA NETO, F.; SILVA JÚNIOR, J. V. Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar BRS Novaera, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 135-141, 2014.
- BHUYAN, B., SAHA, S., SARMA, A., DUTTA, A. K., TAYUNG, K., & KAKATI, R. P. First report of *Curvularia dactyloctenii* causing leaf spot disease of *Vigna unguiculata* in India. **New Disease Reports**, v. 50, n. 2, 2024.
- BORBOREMA, L. D. A.; SILVA, A. A. R.; LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; ARRUDA, T. F. de L.; NUNES, K. G.; COSTA, D. S.; SOUZA, A. R. de; CAETANO, E. J. M.; SOUSA, V.

D. de. Fisiologia e componentes de produção de feijão-caupi sob estresse salino e aplicação de quitosana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 4, e287913, 2025.

BRITO, N. D. **Caracterização e controle da septoriose na cultura do maracujazeiro com produtos químicos e indutores de resistência**. Dissertação. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Vitória da Conquista. p. 87. 2022

CAMOCHENA, R. C.; STEILMANN, P.; SANTOS, I.; DALLEMOLE-GIARETTA, R.; OLIVEIRA, M. C.. Ação de fosfitos de potássio no manejo de mofo branco em soja. **Summa Phytopathol.**, Botucatu, v. 46, n. 3, p. 260-266, 2020.

CARMONA, M. A.; SAUTUA, F. J.; GRIJALBA, P. E.; CASSINA, M.; PÉREZ-HERNÁNDEZ, O. Effect of potassium and manganese phosphites in the control of *Pythium* damping-off in soybean: a feasible alternative to fungicide seed treatments. **Pest management Science**, v. 74, n. 2, p. 366-374, 2018.

CARVALHO, M. A.; CASTRO, I.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C.; EGEA-CORTINES, M.; MATOS, M.; ROSA, E.; CARNIDE, V.; LINO-NETO, T. Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 241, p. 153001, 2019.

CERQUEIRA, A.; ALVES, A.; BERENGUER, H.; CORREIA, B.; GOMEZ-CADENAS, A.; DIEZ, J. J.; MONTEIRO, P.; PINTO, G. Phosphite shifts physiological and hormonal profile of Monterey pine and delays *Fusarium circinatum* progression. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 114, p. 88–99, 2017.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Safra brasileira de grãos. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos>> . Acesso em: 11 maio 2025.

COSTA, B. H. G.; RESENDE, M. L. V.; MONTEIRO, A. C. A.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; BOTELHO, D. M. D. S.; SILVA, B. M. D. Potassium phosphites in the protection of common bean plants against anthracnose and biochemical defence responses. **Journal of Phytopathology**, v. 166, n. 2, p. 95–102, 2018.

DADA, A. O.; DANIA, V. O.; OYATOMI, O. A.; ABBERTON, M.; ORTEGA-BELTRAN, A. Studies of Colletotrichum species causing cowpea anthracnose in Nigeria reveal two first-time reports globally. **Journal of Plant Pathology**, v.107, 701–710, 2025.

DEMARTELAERE, A. C. F.; PRESTON, H. A. F.; PRESTON, W.; MATA, T. C. da; COSTA, W. P. L. B. da; MEDEIROS, D. C. de; NICOLINI, C.; SOUZA, J. B. de; SILVA, T. P. P.; PAIVA, L. L. de; MEDEIROS, P. L. de; MONTE, F. D. M. do; CAMPOS, F. M. de A.; SILVA, C. A. O.; SILVA, E. dos S.; CÂNDIDO, D. Controle biológico da murcha de fusarium no feijão-caupi. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 4798–4818, jan. 2021.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Feijão-caupi. Agência de Informação Tecnológica. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi>. Acesso em: 1 set. 2025.

FAGUNDES-NACARATH, I. R. F.; DEBONA, D.; OLIVEIRA, A. T. H.; HAWERROTH, C.; RODRIGUES, F. A. Biochemical responses of common bean to white mold potentiated by phosphites. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 132, p. 308–319, 2018.

FAO. FAOSTAT: Crops and livestock products. FAO, 2023. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso em: 05 jun. 2025.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, p. 84, 2011.

GADAGA, S. J. C., ABREU, M. S. D., RESENDE, M. L. V. D., & RIBEIRO, P. M. Phosphites for the control of anthracnose in common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 1, p. 36-44, 2017.

GARCES-FIALLOS, F. R., de QUADROS, F. M., FERREIRA, C., de BORBA, M. C., BOUZON, Z. L., BARCELOS-OLIVEIRA, J. L., STADNIK, M. J. Changes in xylem morphology and activity of defense-related enzymes are associated with bean resistance during *Fusarium oxysporum* colonization. **Protoplasma**, 259, 717–729, 2022.

GE, X.; DING, J.; TENG, D.; WANG, J.; HUO, T.; JIN, X.; WANG, J.; HE, B.; HAN, L. Updated soil salinity with fine spatial resolution and high accuracy: the synergy of Sentinel-2 MSI, environmental covariates and hybrid machine learning approaches. **Catena**, v. 212, p. 106054, 2022

GIREESHA, D.; PRABHU, H. V.; PATIL, P. V.; GOWDA, G. R. V.; DESHPANDE, S. K.; VIJAYKUMAR, K. N.; DOGGALLI, G. Integrated management of stem and root rot of cowpea caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi.) Goid. using fungicides, bioagents and organic manures. **Legume Research – An International Journal**, v. 48, n. 4, p. 683–690, 2025.

GÓMEZ-MERINO, F. C.; TREJO-TÉLLEZ, L. I. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 82–90, 2015.

GONDWE, T. M.; ALAMU, E. O.; MDZINISO, P.; MAZIYA-DIXON, B. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) for food security: an evaluation of end-user traits of improved varieties in Swaziland. **Scientific Reports**, v. 9, p. 15991, 2019.

GUIMARÃES, D. G.; AMARAL, C. L. F.; OLIVEIRA, L. M.; GUEDES, M. O. Efeito da salinidade na água de irrigação em cultivares de feijão-caupi. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 2, p. 1–18, 2023.

HAVLIN, J. L.; SCHLEGEL, A. J. Review of phosphite as a plant nutrient and fungicide. **Soil Systems**, v. 5, n. 3, p. 52, 2021.

IBRAFE. Instituto Brasileiro de Feijão e Pulses. Cenário brasileiro do feijão-caupi, 2022. Disponível em: <[https://www.ibrafe.org/artigo/cenario-brasileiro-do-feijaocaupi#:~:text=A%20m%C3%A9dia%20de%20produtividade%20do,na%20BA%20\(%2D2%25\)](https://www.ibrafe.org/artigo/cenario-brasileiro-do-feijaocaupi#:~:text=A%20m%C3%A9dia%20de%20produtividade%20do,na%20BA%20(%2D2%25)>)> Acesso em 01/05/2025

JIMÉNEZ-DÍAZ, R. M.; CASTILLO, P., DEL MAR JIMÉNEZ-GASCO, M.; LANDA, B. B.; NAVAS-CORTÉS, J. A. Fusarium wilt of chickpeas: Biology, ecology and management. **Crop Protection**, v. 73, p. 16-27, 2015.

KATHI, S.; HAYDEE, L.; SINGH, S.; THOMPSON, L.; LI, W.; SIMPSON, C. Increasing vitamin C through agronomic biofortification of arugula microgreens. **Scientific Reports**, v. 12, n. 13093, p. 1-10, 2022.

LESLIE, J. F.; SUMMERELL, B. A. The *Fusarium* laboratory manual. 1. ed. Ames: Blackwell Publishing, p. 388, 2006.

LI, Z.; KONG, X.; ZHANG, Z.; TANG, F.; WANG, M.; ZHAO, Y.; SHI, F. The functional mechanisms of phosphite and its applications in crop plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1538596, 2025.

LIMA, G. S. D.; PINHEIRO, F. W.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. D. A.; SOUSA, P. F. D. N.; FERNANDES, P. D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 180–189, 2022.

LIU, Z.; XU, N.; PANG, Q.; KHAN, R. A. A.; XU, Q.; WU, C.; LIU, T. A salt-tolerant strain of *Trichoderma longibrachiatum* HL167 is effective in alleviating salt stress, promoting plant growth, and managing Fusarium wilt disease in cowpea. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 3, p. 304, 2023.

MERWAD, A. R. M.; DESOKY, E. S. M.; RADY, M. M. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v. 228, p. 132–144, 2018.

MOHAMMADI, M. A.; CHENG, Y.; ASLAM, M.; JAKADA, B. H.; WAI, M. H.; YE, K.; QIN, Y. ROS and oxidative response systems in plants under biotic and abiotic stresses: revisiting the crucial role of phosphite triggered plants defense response. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 631318, 2021.

MORALES-MORALES, E. J.; MARTÍNEZ-CAMPOS, Á. R.; LÓPEZ-SANDOVAL, J. A.; CASTILLO GONZÁLEZ, A. M.; RUBÍ-ARRIAGA, M. Los fosfitos y sus aplicaciones en la agricultura. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 13, n. 2, p. 345–354, 2022.

NASCIMENTO, I. O.; SILVA, B. S.; ALMEIDA, B. S. de; CUNHA, W. L.; ALENCAR SOBRINHO, N.; OLIVEIRA, J. D. de; NOBRE, C. P.; RODRIGUES, A. A. C. Eficiência simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares do cerrado maranhense associados à cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 16, p. 1774–1791, 2024.

NASCIMENTO, K. J. T., ARAUJO, L., RESENDE, R. S., SCHURT, D. A., SILVA, W. L. D., RODRIGUES, F. D. Á. Silicon, acibenzolar-S-methyl and potassium phosphite in the control of brown spot in rice. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p. 212-221, 2016.

OLIVEIRA, L. G.; KETTNER, M. G.; LIMA, M. L. S.; ARAÚJO, E. R.; SILVA, A. R.; COSTA, A. F. Potencial de biocontrole *Trichoderma* spp. contra *Macrophomina phaseolina* de feijão-caupi. **Pesquisa agropecuária pernambucana**, v. 26, n. 2, 2021.

OLIVEIRA, F. D. A. D.; MEDEIROS, J. F. D.; ALVES, R. D. C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T. D.; RÉGIS, L. R. D. L. Produção de feijão-caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1049–1056, 2015.

OLIVEIRA, F. D. A. D.; MEDEIROS, J. F. D.; OLIVEIRA, M. K.; SOUZA, A. A.; FERREIRA, J. A.; SOUZA, M. S. Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 465–471, 2013.

PAIVA, E. P. D.; SÁ, F. V. D. S.; TORRES, S. B.; BRITO, M. E.; MOREIRA, R. C.; SILVA, L. D. A. Germination and tolerance of cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars to water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 407–411, 2018

PINTO, K. M., DE NORONHA, D. A., MOSSER, L. M. Qualidade sanitária de sementes crioulas de feijão no agreste de Pernambuco. **Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability**, v. 2, n. 1, 2021.

RAMOS, J. G.; LIMA, V. L. A. de; LIMA, G. S. de; PEREIRA, M. O.; SILVA, A. A. R. da; NUNES, K. G. Growth and quality of passion fruit seedlings under salt stress and foliar application of H₂O₂. **Comunicata Scientiae**, v. 13, e3393, 2022.

RESENDE, M. L. V., RODRIGUES, F. Á., BOTELHO, D. M. D. S., RIBEIRO JUNIOR, P. M., REICHEL, T., GUERRA-GUIMARÃES, L. Produtos alternativos para o controle de doenças das plantas. **Química**, v. 24, p. 255 – 259, 2021.

ROCHA, G. G.; RODRIGUE, G. B.; SANTOS, A.; JESUS, W. C. D.; NOVAES, Q. S. D. E. Efeito de fosfito de potássio no crescimento e na densidade micelial do *Fusarium solani* do maracujazeiro. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 2, p. 180–182, 2016.

ROCHA, M. D. M.; CARVALHO, K. J. M. D.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, Â. C. D. A.; GOMES, R. L. F.; SOUSA, I. D. S. Controle genético do comprimento do pedúnculo em feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 270–275, 2009.

SÁ, F. V. D. S.; SILVA, I. E. D.; FERREIRA, M.; LIMA, Y. B. D.; PAIVA, E. P. D.; GHEYI, H. R. Phosphorus doses alter the ionic homeostasis of cowpea irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 6, p. 372–379, 2021.

SÁ, F. V. S.; PAIVA, E. P. de; TORRES, S. B.; BRITO, M. E. B.; NOGUEIRA, N. W.; FRADE, L. J. G.; FREITAS, R. M. O. de. Seed germination and vigor of different cowpea cultivars under salt stress. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 4, p. 450–455, 2016.

SALDARRIAGA-GÓMEZ, C.; PAEZ-MONROY, P. N.; GONZÁLEZ-ALMARIO, A. A potassium phosphite solution as a dual-action strategy against bean anthracnose: antifungal activity and defense gene priming. **Horticulturae**, v. 11, n. 5, p. 462, 2025.

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

SILVA, C. Z.; SILVA, R.; SILVA, A. C.; CARVALHO, R. M.; COSTA, A. F.; NICOLI, A.; RIOS, J. A.; Identification of cowpea genotypes resistant to *Fusarium* Wilt. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 4, p. 957, 2021.

SILVA JÚNIOR, J. V.; CARVALHO BEZERRA, A. A.; SILVA, E. M. Crescimento e desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi em função da salinidade da água de irrigação. **Irriga**, v. 26, n. 2, p. 343-366, 2021.

SILVA JÚNIOR, M. B.; RESENDE, M. L. V.; POZZA, E. A.; RESENDE, A. R. M.; SILVEIRA, G. C. D.; VEIGA, J. D.; OLIVEIRA, J. M.; SILVA, A. C. da. Phosphite compounds suppress anthracnose in soybean seeds infected by *Colletotrichum truncatum* and stimulate growth and defense mechanisms. **Plants**, v. 14, p. 1494, 2025.

SILVA JUNIOR, M. B.; RESENDE, M. L. V.; POZZA, E. A.; RESENDE, A. R.; VASCONCELOS, V. A. M.; MONTEIRO, A. C. A.; SANTOS BOTELHO, D. M. Phosphites for the management of anthracnose in soybean pods. **Journal of Plant Pathology**, v. 103, p. 611-617, 2021.

SIQUEIRA, I.T.D. D., CRUZ, L. R., SOUZA-MOTTA, C. M. D., MEDEIROS, E. V. D., & MOREIRA, K. A. Indução de resistência por acibenzolar-S-metil em feijão caupi no controle da antracnose. **Summa Phytopathologica**, v. 45, p. 76-82, 2019.

SOBRINHO, C. A.; PAZ FILHO, E. R.; DIAS, L. R. C.; SANTOS, A. R. B.; SILVA, P. H. S.; NICOLINI, C.; SILVA, L. M. A. Perfil sanitário e tratamento de sementes de feijão-caupi com óleo essencial de *Lippia lasiocalycina* Cham. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, p. e19212240182, 2023.

Xi, Y.; HAN, X.; ZHANG, Z.; JOSHI, J.; BORZA, T.; AQA, M. M.; WANG-PRUSKI, G. Exogenous phosphite application alleviates the adverse effects of heat stress and improves thermotolerance of potato (*Solanum tuberosum* L.) seedlings. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 190, p. 110048, 2020.

WAMALWA, E. N. I.; MUOMA, J.; MUYEKHO, F.; WEKESA, C.; AJANGA S. Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* races associated with cowpea fields in kakamega county. **Fungal Genomics & Biology**, v. 8, p. 1-7, 2018.

**2 Capítulo II – INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA A *Fusarium* sp. EM FEIJÃO-CAUPI
COM PRODUTOS À BASE DE FOSFITO**

COSTA, M. M. L. **Indução de resistência a *Fusarium* sp. em feijão-caupi com produtos à base de fosfíto**. Universidade Federal da Paraíba (Doutorado em Agronomia). Areia, PB. 2025.

RESUMO

O *Fusarium* sp. é o agente causal da murcha ou fusariose, doença capaz de reduzir drasticamente a produção de diversas culturas, incluindo o feijão-caupi. Uma alternativa sustentável para reduzir esses danos é a utilização de fosfítos como elicitores de resistência. O objetivo desse estudo foi determinar a eficiência de diferentes doses e fontes de fosfíto no controle *in vitro* de *Fusarium* sp. e em plantas de feijão caupi (*in vivo*). As fontes de fosfíto utilizadas foram o fosfíto de cobre, fosfíto de magnésio, o fosfíto de cálcio, fosfíto de manganês, Ranger® e Titanium®, nas doses 0, 150, 300, 450, 600, 750 e 900 mg de P_2O_5 L⁻¹, respectivamente, e um tratamento adicional referente ao controle com os fungicidas Tiabendazol (200mL/100L) e Captana (240g/100 kg de sementes). Para o experimento *in vitro*, em placa de Petri foram adicionados 20 mL de BDA com os tratamentos acrescidos, após solidificação do meio, no centro da placa foi inserido um disco de 5 mm da colônia pura de *Fusarium* sp., e incubadas em câmara BOD por sete dias. Para o *in vivo* as sementes foram inicialmente desinfestadas, tratadas e inoculadas com *Fusarium* sp. pelo método de suspensão, semeadas e conduzidas por 31 dias. No experimento *in vitro* foram avaliados o índice de velocidade de crescimento micelial, o percentual de inibição do crescimento micelial, esporulação e percentual de inibição da esporulação. No experimento com *in vivo*, realizado em casa de vegetação, foram avaliadas as características morfoagronômicas, fisiológicas, taxa de infecção e atividade enzimática da peroxidase (POD), polifenoloxidase (PPO) e fenilalanina amônia-liase (PAL). O produto à base de fosfíto, Titanium®, foi eficiente na inibição do crescimento micelial e na esporulação de *Fusarium* sp. *in vitro*, na dose de 624 mL P_2O_5 L⁻¹. O fosfíto Titanium® proporcionou incremento na massa da matéria seca total de plantas de feijão-caupi tratadas com fontes de fosfíto. As fontes de fosfíto apresentaram eficiência na redução da taxa de infecção das plantas com *Fusarium* sp. O fosfíto de cobre e cálcio apresentaram incremento na atividade da peroxidase.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp; fusariose; controle alternativo; atividade enzimática.

COSTA, M. M. L. **Resistance induction against *Fusarium* sp. in cowpea with phosphite-based products.** Federal University of Paraiba (Doctorate in Agronomy). Areia, PB. 2025.

ABSTRACT

Fusarium sp. is the causal agent of fusarium wilt, a disease capable of drastically reducing the production of various crops, including cowpea. A sustainable alternative to reduce this damage is the use of phosphites as resistance elicitors. The objective of this study was to determine the efficiency of different doses and sources of phosphite in the *in vitro* control of *Fusarium* sp. and in cowpea plants (*in vivo*). The phosphite sources used were copper phosphite, magnesium phosphite, calcium phosphite, manganese phosphite, Ranger® and Titanium®, at doses of 0, 150, 300, 450, 600, 750 and 900 mg of P_2O_5 L⁻¹, respectively, and an additional treatment for control with the fungicides Thiabendazole (200 mL/100 L) and Captan (240 g/100 kg of seeds). For the *in vitro* experiment, 20 mL of PDA with the added treatments were placed in a Petri dish. After the medium solidified, a 5 mm disc of pure *Fusarium* sp. colony was inserted into the center of the dish, and the dishes were incubated in a BOD chamber for seven days. For the *in vivo* experiment, the seeds were initially disinfected, treated, and inoculated with *Fusarium* sp. using the suspension method, then sown and kept for 31 days. In the *in vitro* experiment, the mycelial growth rate index, the percentage of mycelial growth inhibition, sporulation, and the percentage of sporulation inhibition were evaluated. In the *in vivo* experiment, conducted in a greenhouse, the morpho-agronomic and physiological characteristics, infection rate, and enzymatic activity of peroxidase (POD), polyphenoloxidase (PPO), and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) were evaluated. The phosphite-based product, Titanium®, was effective in inhibiting mycelial growth and sporulation of *Fusarium* sp. *in vitro*, at a dose of 624 mL P_2O_5 L⁻¹. Titanium® phosphite increased the total dry matter mass of cowpea plants treated with phosphite sources. The phosphite sources were effective in reducing the infection rate of plants with *Fusarium* sp. Copper and calcium phosphite showed an increase in peroxidase activity.

Keywords: *Vigna unguiculata* (L.) Walp; Fusariosis; Alternative control; enzymatic activity.

2.1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é um importante leguminosa por ser uma fonte de proteínas, vitaminas, ferro e outros elementos essenciais (Maia, 2023) e ser fonte de alimento para a população de baixa renda. No entanto, a murcha de fusário é um dos fatores que afetam a produção desta cultura causando perdas anuais na produção (Hao et al., 2023) e, pode ocorrer em todo o ciclo da cultura, sendo favorecido por temperaturas entre 21 e 33 °C (Amorim et al., 2016), seu controle ocorre principalmente de modo preventivo, pelo uso de fungicidas sintéticos, aplicados na semente o no solo.

Na busca por sistemas de cultivo sustentáveis que substituam ou minimizem o uso de agrotóxicos, o uso de indutores de resistência (Silva et al., 2019) tem merecido grande destaque, atuando tanto no estímulo do crescimento, quanto na indução de resistência à patógenos (Melo-Filho; Guenther, 2015; Melo et al., 2020). Dentre os indutores de resistência abióticos, as fontes de fosfito, possuem vantagens por ter uma fácil absorção pela planta e um bom custo-benefício (Borin et al. 2019), além de atuarem na inibição do desenvolvimento de fungos e oomicetos. Essa inibição podendo ser uma inibição direta, quando inibe a esporulação ou reduz a taxa de crescimento, como também a inibição indireta, quando estimula os mecanismos de defesa da planta, tanto na presença quanto na ausência do patógeno (Nascimento et al. 2016; Borin et al. 2017; Borin et al. 2019; Camochena et al., 2020).

Fungos fitopatogênicos podem reduzir drasticamente a produtividade das plantas, destacando-se os pertencentes ao gênero *Fusarium* que habitam o solo e causam murchas vasculares ou podridões radiculares em mais de 120 culturas economicamente importantes em todo o mundo. Esse patógeno é o agente causal da murcha de *Fusarium* em feijão-caupi, e é considerada uma das mais importantes doenças transmitidas por patógenos radiculares (Sasseron et al., 2020).

Face ao exposto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência de fontes e doses de fosfito no controle *in vitro* e na indução de resistência de *Fusarium* spp. em feijão-caupi.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo e tratamentos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fitopatologia (LAFIT), pertencente ao Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Areia-PB.

As sementes tradicionais de feijão-caupi, cultivar Barba de Guiné, foram obtidas com produtores do assentamento Queimadas, do município de Remígio – PB (6° 53' 30" S, 35° 49' 51" O). As sementes foram selecionadas, através da observação visual, descartando-se as malformadas e/ou sob ataque de pragas, e armazenadas em garrafas pet, sob temperatura ambiente.

Os tratamentos foram organizados no fatorial $6 \times 7 + 1$, representando os elicitores (fosfito de cobre, fosfito de magnésio, fosfito de cálcio, fosfito de manganês, Ranger® e Titanium®, da Quimifol® da Fênix Agro) nas doses 0, 150, 300, 450, 600, 750 e 900 mg de $P_2O_5 \text{ L}^{-1}$, respectivamente e um tratamento adicional com o fungicida Tiabendazol (200 mL/100L) e Fungicida Captana (240 g/100 kg de sementes).

2.2.2 Obtenção do isolado de *Fusarium* sp.

As plantas e sementes de feijão-caupi com sintomas de doenças, foram doadas por um produtor do município de Areia - PB. O isolamento foi realizado retirando-se fragmentos da área de intersecção entre a área da lesão e sadia, desinfestando-se com álcool a 70% por 30 segundos, hipoclorito de sódio a 1% por 2 minutos, e lavados uma vez em água destilada e esterilizada (ADE). As sementes foram desinfestadas superficialmente com hipoclorito de sódio a 1% imergindo-as por 3 minutos, lavadas em ADE e colocadas em papel filtro estéril para retirada do excesso de umidade. Os fragmentos de 5 mm e as sementes foram transferidos para placas de Petri (90 x15mm) contendo meio batata-dextrose-ágar (BDA) permanecendo por 7 dias em câmaras de crescimento (Biochemical Oxygen Demand – BOD) à 25 °C e fotoperíodo de 12 h, para o desenvolvimento das colônias fúngicas. Após crescimento e identificação com base em características morfológicas e auxílio de literatura especializada (Menezes, 1993; Seifert et al., 2011), foi realizada a repicagem para obtenção das colônias puras.

2.2.3 Experimento *in vitro*

Foram avaliados o crescimento micelial e a produção de esporos de *Fusarium* sp. Em cada placa de Petri foram adicionados 20 mL de BDA com os tratamentos acrescidos, ainda líquidos nas placas de Petri. Após solidificação do meio, no centro da placa foi inserido um disco de 5 mm da colônia pura de *Fusarium* sp. As placas foram incubadas em BOD nas condições anteriormente descritas.

A cada 24 horas, foram realizadas a avaliação do crescimento micelial, através da mensuração do diâmetro das colônias, com régua milimetrada, em posições perpendiculares, com ponto no centro da placa, sendo efetuada a média até o preenchimento total da placa pela colônia fúngica. Esses dados foram utilizados no cálculo da porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC) e no índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM), conforme Rocha et al. (2016a): $IVCM = \Sigma (D - D_a) / N$, onde IVCM = Índice de Velocidade de Crescimento Micelial, D = Diâmetro médio atual, D_a = Diâmetro médio do dia anterior, N = Número de dias após a montagem do experimento, expressos em mm dia⁻¹.

Na mesma placa foi realizada a determinação da produção de conídios de *Fusarium* sp., no sexto dia de incubação, mediante a adição de 10 mL ADE sobre a colônia fúngica e, com uma escova de cerdas macias, foi realizada a remoção dos conídios e filtragem em dupla camada de gaze estéril. Em seguida, uma gota da suspensão conidial foi colocada na câmara de Neubauer, quantificado o número de conídios e avaliada a esporulação (E) e porcentagem de inibição de esporos (P.I.E.), em que $P.I.E. = (E_{\text{testemunha}} - E_{\text{tratamento}}) / E_{\text{testemunha}} \times 100$.

2.2.4 Experimentos *in vivo*

2.2.4.1 Inoculação das sementes de feijão-caupi

As sementes foram inicialmente desinfestadas, com hipoclorito de sódio a 1%, por três minutos, lavadas com ADE, e secas sobre papel toalha à temperatura de 25 ± 2 °C. A aplicação dos tratamentos foi realizada pela imersão das sementes nos tratamentos por cinco minutos, sendo incubadas em placas de Petri, com dupla camada de papel de filtro estéril seco.

A inoculação com *Fusarium* sp. foi realizada 24 horas após tratamento, pelo método de suspensão, adicionando-se 10 mL de ADE na placa contendo a colônia fúngica para a liberação dos esporos. Em câmara de Neubauer foram quantificados os esporos e a suspensão ajustada à 1×10^5 esporos por mL^{-1} (Alfenas; Mafia, 2016) sendo as sementes imersas por cinco minutos na suspensão.

Após 24 da inoculação das sementes com *Fusarium* sp., foi realizada a semeadura a 2 cm de profundidade, em casa de vegetação, em sacos de polietileno preto, com capacidade para 1,5 L contendo o substrato Mecplant®. Foram semeadas duas sementes por saco e o desbaste foi realizado no 10º dia após o plantio, permanecendo apenas uma planta/saco. A irrigação ocorreu uma vez ao dia, de forma manual. As avaliações foram realizadas aos 31 dias após a semeadura.

2.2.4.2 Avaliações morfoagrônomicas e fisiológicas de plantas de feijão caupi oriundas de sementes tratadas e inoculadas com *Fusarium* sp.

Aos 31 dias após plantio DAP foram mensuradas, com régua milimetrada, a altura da planta e distância entre o colo da planta e a gema apical; diâmetro do caule, aferido 1 cm acima do nível do substrato, utilizando paquímetro digital; número de folhas, por contagem visual; volume da raiz, utilizando o princípio de Arquimedes, com proveta com um volume conhecido; massa da matéria seca das raízes, da parte aérea e total, sendo secas em estufa a 65 °C por 72 horas e as massas aferidas em balança analítica com precisão de 0,001g e resultados expressos em g planta^{-1} .

Os parâmetros fisiológicos avaliados nas plantas oriundas das sementes tratadas e inoculadas, foram: fluorescências inicial (F_0), máxima (F_m) e variável ($F_v = F_m - F_0$) da clorofila 'a', relação entre processos fotoquímicos e não fotoquímicos (F_v/F_0) e rendimento quântico do fotossistema II (F_v/F_m), utilizando o fluorômetro (Sciences Inc.- Model OS-30p, Hudson, USA) após adaptação das folhas ao escuro; índices foliares de clorofila Falker "a", "b" e "total" com clorofilômetro portátil (ClorofiLOG®, modelo CFL 1030), com leituras realizadas no período das 08h às 12h horas.

2.2.5 Atividade enzimática

Para o preparo dos extratos das enzimas Peroxidase (POX), Polifenoloxidase (PPO) e Fenilalanina amônia-liase (PAL) foram coletadas, no início da manhã, duas folhas do terço médio da planta, as quais foram identificadas e armazenadas em freezer. Subamostras de 1,0 g de folhas de cada parcela foram maceradas em almofariz com nitrogênio líquido, e 10 mL de acetato de sódio até a obtenção de uma massa homogênea. As amostras foram centrifugadas por 15 minutos, a 12000 G, à -4 °C. O sobrenadante foi transferido para microtubos de 1,5 mL do tipo eppendorf.

Para a determinação das proteínas totais foi utilizado o método proposto por Bradford (1976).

2.2.5.1 Atividade da Peroxidase (POD)

A atividade da enzima peroxidase (POD) foi determinada por meio da reação de conversão do guaiacol em tetraguaiacol, através da guaiacol peroxidase, adaptada de (Roncato; Pascholati, 1998) pela adição de 0,25 mL de extrato enzimático ao meio de reação contendo 0,25 mL de guaiacol (1,7%), 0,75 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,0) e 0,25 mL de H₂O₂ (1,8%), totalizando um volume de 1,5 mL. O Branco foi composto do meio de reação, exceto o extrato enzimático que foi substituído por ADE. A obtenção da atividade enzimática foi expressa em espectrofotômetro, pela variação da absorbância, no comprimento de onda de 470 nm, a 25 °C e expressa em Unidades de Absorbância (UA). Min⁻¹. Mg⁻¹ de proteína.

2.2.5.2 Atividade da Polifenoloxidase (PPO)

A polifenoloxidase (PPO) foi obtida pela conversão de catecol em quinona, por meio da adição de 0,25 mL de extrato enzimático ao meio de reação contendo 0,25 mL de 4-metilcatecol (60 mM), 0,75 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,8) e 0,25 mL de ADE. O Branco foi composto do meio de reação, exceto o extrato enzimático que foi substituído por ADE. As amostras foram incubadas em tubos de ensaio por 15 minutos em banho maria na temperatura de 40 °C. Após este período foi adicionada 0,8 mL de ácido perclórico (2,0 M) para a paralisação da atividade. Na sequência, procedeu-se com a determinação da atividade enzimática expressa em espectrofotômetro no comprimento de onda de 395 nm, a 25 °C e expressa em Unidades de Absorbância (UA). min⁻¹. mg⁻¹ de proteína (Duangmal; Apenten, 1999).

2.2.5.3 Atividade da Fenilalanina amônia-liase (PAL)

A atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) foi determinada adicionando-se 0,25 mL do extrato enzimático em tubos de ensaio com a adição de 1,5 mL da solução de tampão TRIS 0,01 M (pH 8,8) e 1,25 mL de ADE. Como referência foi realizada a primeira leitura com o “Branco”, que foi composto por 1,5 mL da solução tampão Tris-HCl 0,01 M, 0,5 mL de solução de fenilalanina e 1 mL de ADE. Os tubos contendo as amostras foram incubadas em banho-maria a 40 °C, durante 60 minutos. Em seguida as amostras foram paralisadas com a adição de 0,1 mL de ácido clorídrico a 5,0 M. A leitura foi realizada em cubeta de quartzo no espectrofotômetro pela variação da absorbância, no comprimento de onda de 290 nm, a 25 °C e os resultados foram expressos em Unidades de Absorbância (UA). min⁻¹. mg⁻¹ de proteína (Umesha, 2006).

2.2.6 Taxa de infecção

Para a Taxa de Infecção (TI) de *Fusarium* spp. nas plantas de feijão-caupi, retiraram-se fragmentos de 0,5 mm na área do colo de todas as plantas, a aproximadamente 1,0 cm acima do solo, com lâmina de bisturi estéril. Os fragmentos foram desinfestados em álcool 70% por 30 segundos e hipoclorito de sódio 1% por dois minutos, seguido de enxague com ADE e transferidos para placas de Petri contendo BDA, permanecendo por oito dias à 25 °C e fotoperíodo de 12 horas.

A TI foi obtida a partir da quantidade de fragmentos com crescimento fúngico característico do *Fusarium* spp., em função do número de plantas avaliadas em cada parcela, sendo expressa em porcentagem, de acordo com a fórmula proposta por Mckinney (1923):

$$\text{Taxa de infecção (TI)} = \frac{\text{Número de plantas infectadas}}{\text{Número total de plantas avaliadas}} \times 100$$

A confirmação da etiologia do patógeno foi realizada em microscópio óptico através da observação das características morfológicas, com auxílio de literatura especializada (Menezes, 1993; Seifert et al., 2011).

2.2.7 Análise estatística e delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. No experimento *in vitro*, a unidade experimental foi composta por três placas de Petri enquanto no ensaio *in vivo* a parcela foi composta por dois sacos, cada um com uma planta.

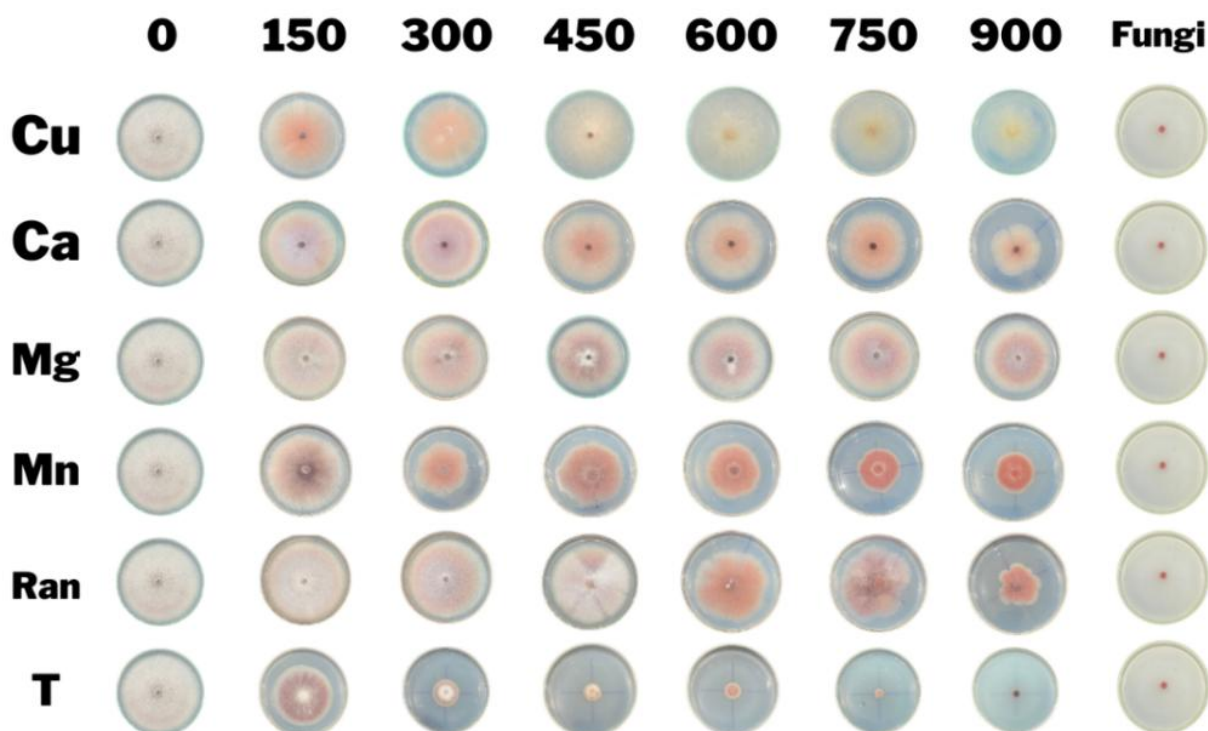
Os dados foram inicialmente avaliados quanto à normalidade (Anderson-Darling) e homogeneidade das variâncias (Bartlett e Levene), considerando até 5% de probabilidade, e quando não atendidos esses pressupostos realizou-se a transformação (função $\log(x+1)$ para variáveis de distribuição contínua, função $\sqrt{x+1}$ para variáveis de contagem e $\arcsen(x/100)^{0,5}$ para variáveis de percentagem). Em seguida, foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$) sendo as fontes e as doses de fosfitos submetidas à comparação de médias pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) e regressão polinomial pelo teste F ($p \leq 0,05$), respectivamente.

Foi realizado o teste de Dunnett ($p \leq 0,05$) para comparar o efeito do fungicida, controle padrão, com os demais tratamentos e análises de contrastes. As análises foram realizadas no software SAS® On Demand for Academics.

2.3 RESULTADOS

Para o IVCm observou-se interação entre as fontes e as doses de fosfito ($F = 58,17$, $p < 0,0001$, $CV = 4,02\%$), sendo entre os fosfitos, o Titanium® o que teve melhor controle do fungo em todas as doses e os fosfitos de cobre, potássio e magnésio a menor eficiência (Tabela 1; Figura 1).

Figura 1 – Crescimento micelial de *Fusarium* sp. em função de fontes e doses de fosfito



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Cu: fosfito de cobre; Ca: fosfito de cálcio; Mg: fosfito de magnésio; Mn: fosfito de manganês; Ran: Ranger; T: Titanium. Doses: 0, 150, 300, 450, 600, 750, 900 mL de P_2O_5 L⁻¹, Fungi: Fungicida

Em relação ao Titanium[®], estima-se que a dose de 654 mL de P_2O_5 L⁻¹ foi eficiente no controle *in vitro* de *Fusarium* sp. (Tabela 1). Infere-se também que o fosfito foi eficiente quando comparado com o tratamento controle ($F = 766,84$, $p < 0,0001$), entretanto menos eficiente que o fungicida ($F = 2298,47$, $p < 0,0001$). Ao se utilizar o Titanium[®] nas doses de 750 e 900 mL de P_2O_5 L⁻¹ ele foi tão eficiente quanto o fungicida (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores médios do Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM), Porcentagem de Inibição do Crescimento Micelial (PIC), Esporulação (E) e da Porcentagem de Inibição de Esporulação (PIE) de *Fusarium* sp. em função de fontes e doses de fosfito

(PIE) de <i>Fusarium</i> sp. em função dos pontos e doses de resíduo									
Fosfitos	Doses de fosfito mL L ⁻¹							Média	Modelo
	0	150	300	450	600	750	900		
IVCM									
Ca	2,7 a ^T	2,4 b ^T	2,2 c ^T	2,2 d ^T	1,9 b ^T	1,7 c ^T	1,7 b ^T	2,1	$\hat{y} = 2,60 - 0,0011**x$ R ² : 0,95
Cu	2,7 a ^T	3,1 a ^T	3,2 a ^T	3,0 a ^T	2,6 a ^T	2,1 b ^T	1,7 b ^T	2,6	$\hat{y} = 2,79 + 0,0022**x - 0,000004**x^2$ R ² : 0,97
K	2,7 a ^T	2,9 a ^T	2,5 b ^T	2,4 c ^T	1,9 b ^T	1,9 c ^T	1,6 b ^T	2,3	$\hat{y} = 2,83 - 0,0008**x - 0,0000007**x^2$ R ² : 0,93
Mg	2,7 a ^T	2,8 a ^T	2,7 b ^T	2,6 b ^T	2,6 a ^T	2,5 a ^T	2,1 a ^T	2,6	$\hat{y} = 2,73 + 0,0003**x - 0,000001**x^2$ R ² : 0,92
Mn	2,7 a ^T	2,3 b ^T	2,3 c ^T	2,3 c ^T	2,1 b ^T	1,8 c ^T	1,4 c ^T	2,1	$\hat{y} = 2,59 - 0,0003**x - 0,000001**x^2$ R ² : 0,94
Titanium®	2,7 a ^T	1,8 c ^T	0,7 d ^T	0,5 e ^T	0,4 c ^T	0,1 d	0,0 d	0,9	$\hat{y} = 2,67 - 0,0067**x + 0,000004**x^2$ R ² : 0,97
Fungicida®									0,0
Média	2,7	2,6	2,3	2,2	1,9	1,7	1,4		
PIC (%)									
Ca	0,0 a ^T	13,1 b ^T	18,7 b ^T	20,8 b ^T	28,8 b ^T	35,9 b ^T	36,3 c ^T	21,9	$\hat{y} = 1,68 + 0,0603**x - 0,00002**x^2$ R ² : 0,97
Cu	0,0 a ^T	0,0 c ^T	0,0 d ^T	0,0 e ^T	4,5 c ^T	23,8 c ^T	38,6 c ^T	9,6	$\hat{y} = 2,25 - 0,0456**x + 0,0001**x^2$ R ² : 0,97
K	0,0 a ^T	0,0 c ^T	7,5 c ^T	11,5 c ^T	30,0 b ^T	30,3 b ^T	40,7 c ^T	17,1	$\hat{y} = - 4,86 + 0,0489**x$ R ² : 0,94
Mg	0,0 a ^T	0,0 c ^T	2,6 c ^T	4,0 d ^T	4,6 c ^T	9,0 d ^T	21,2 d ^T	5,9	$\hat{y} = 1,02 - 0,0127**x + 0,00004*x^2$ R ² : 0,93
Mn	0,0 a ^T	13,9 b ^T	13,9 b ^T	14,7 c ^T	24,5 b ^T	32,2 b ^T	50,1 b ^T	21,3	$\hat{y} = 0,17 + 0,047**x$ R ² : 0,89
Titanium®	0,0 a ^T	32,5 a ^T	73,4 a ^T	81,1 a ^T	85,2 a ^T	96,8 a ^T	100,0 a	67,0	$\hat{y} = 1,97 + 0,2478**x - 0,0002**x^2$ R ² : 0,97
Fungicida®									100,0
Média	0,0	9,9	19,4	22,0	29,6	38,0	47,8		
Esporulação (10 ⁵ esporos ml ⁻¹)									
Ca	24,3 ^T	14,1 ^T	6,3 ^T	2,7	5,2	1,9	1,5	8,0 b	$\hat{y} = 18,01 - 0,0224**x$ R ² : 0,75
Cu	24,3 ^T	3,2	1,4	3,5	0,1	0,0	0,0	4,6 c	$\hat{y} = 19,4 - 0,0682**x + 0,00005**x^2$ R ² : 0,77
K	24,3 ^T	18,7 ^T	16,7 ^T	11,1 ^T	3,4	2,6	4,0	11,5 a	$\hat{y} = 22,94 - 0,0253**x$ R ² : 0,91
Mg	24,3 ^T	28,8 ^T	15,3 ^T	9,7 ^T	12,1 ^T	4,9	2,9	14,0 a	$\hat{y} = 26,34 - 0,0274**x$ R ² : 0,85
Mn	24,3 ^T	17,3 ^T	3,7	3,9	7,0 ^T	1,0	3,9	8,7 b	$\hat{y} = 23,98 - 0,066**x + 0,00005*x^2$ R ² : 0,88
Titanium®	24,3 ^T	3,7	2,5	0,8	0,4	0,0	0,0	4,5 c	$\hat{y} = 19,88 - 0,0718**x + 0,00006**x^2$ R ² : 0,82
Fungicida®									0,0
Média	24,3	14,3	7,65	5,28	4,7	1,73	2,05		
PIE (%)									
Ca	0,00 a ^T	31,69 b ^T	66,60 a	81,07 a	70,81 b	89,51 b	88,51 a	61,2	$\hat{y} = 2,38 + 0,2318**x - 0,0002**x^2$ R ² : 0,95
Cu	0,00 a ^T	77,46 a	91,56 a	71,15 a	99,36 a	100,00 a	100,00 a	77,1	$\hat{y} = 18,00 + 0,2542**x - 0,0002**x^2$ R ² : 0,77
K	0,00 a ^T	30,53 b ^T	25,05 b ^T	36,61 b ^T	81,22 a	82,06 b	83,25 a	48,4	$\hat{y} = 4,57 + 0,0974**x$ R ² : 0,88
Mg	0,00 a ^T	19,87 b ^T	27,39 b ^T	50,57 b ^T	33,23 c ^T	65,58 b	85,75 a	40,3	$\hat{y} = 2,36 + 0,0844**x$ R ² : 0,88
Mn	0,00 a ^T	43,78 b ^T	80,62 a	73,70 a	63,14 b ^T	93,82 b	84,76 a	62,8	$\hat{y} = 8,74 + 0,2242**x - 0,0002**x^2$ R ² : 0,83
Titanium®	0,00 a ^T	76,52 a	85,39 a	96,94 a	97,03 a	100,00 a	100,00 a	79,4	$\hat{y} = 15,10 + 0,2925**x - 0,0002**x^2$ R ² : 0,88
Fungicida®									100,0
Média	0,0	46,64	62,77	68,34	74,13	88,50	90,38		

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. [®]Fungicida Tiabendazol (100mL/100L); Titanium®: composto por fosfito de cobre, manganês e zinco; médias seguidas pela mesma letra minúscula, dentro de cada dose de fosfito, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); ^TDifere significativamente da aplicação de fungicida pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$); * e **: significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As fontes e doses de fosfito apresentaram interação para a PIC ($F = 24,90$, $p < 0,0001$, $CV = 15,17$). Dentre os fosfitos utilizados, o Titanium® proporcionou maior percentual de inibição do crescimento micelial em todas as doses, passando de 2 a 77% de inibição (Tabela 1). Constata-se também que os fosfitos apresentaram maior eficiência quando comparado com a testemunha ($F = 1245,90$, $p < 0,0001$), porém menos eficiência que o fungicida ($F = 1050,21$, $p < 0,0001$) com exceção para o Titanium®, na dose 900 mL de P₂O₅ L⁻¹ que foi tão eficiente quanto o fungicida (Tabela 1).

Os fatores fontes e doses de fosfito afetaram a esporulação (E) de *Fusarium* sp. apenas de forma isolada ($F = 20,22$, $p < 0,0001$, $CV = 43,56$), sendo a aplicação de Titanium® e do fosfito de cobre os que registraram menor esporulação, e as maiores com fosfito de magnésio e fosfito de potássio. O aumento de 283 e 404 mL de P₂O₅ L⁻¹ dos fosfitos Titanium® e de cobre,

respectivamente reduziram a esporulação totalmente (Tabela 1). Tanto o fungicida ($F = 77,67$, $p < 0,0001$) quanto os fosfitos ($F = 166,26$, $p < 0,0001$) foram eficientes em inibir a esporulação. Os fosfitos Titanium® e de cobre, em todas as doses avaliadas, foram tão eficientes quanto o fungicida. Para os demais tratamentos, apenas as doses superiores a 750 mL se destacaram (Tabela 1).

Para o PIE houve interação entre as fontes e doses de fosfito ($F = 1,56$, $p < 0,04$, $CV = 31,88$), as fontes Titanium®, cobre e manganês apresentaram em todas as doses efeito inibitório de *Fusarium* sp. Em relação aos fosfitos de cobre e Titanium®, as doses 731 e 636 mL de P_2O_5 L⁻¹ respectivamente, foram eficientes na redução da quantidade de esporos, com inibição semelhante ao fungicida (Tabela 1). Os produtos à base de fosfito e o fungicida inibiram a esporulação do fungo quando comparados com a testemunha ($F = 12,64$, $p < 0,0005$).

Para o comprimento da parte aérea se observou interação entre as fontes e doses de fosfito ($F = 4,22$, $p < 0,0001$, $CV = 2,31$). O fosfito de manganês na dose 150 mL de P_2O_5 L⁻¹ proporcionou maior comprimento da parte aérea (52,3 cm), enquanto na dose 300 mL de P_2O_5 L⁻¹ o fosfito de cálcio reduziu o crescimento em comparação aos outros fosfitos. Já nas doses de 450, 600 e 700 mL de P_2O_5 L⁻¹ não foram observadas diferenças entre as fontes de fosfito. Na dose de 900 mL de P_2O_5 L⁻¹ o fosfito de cálcio e magnésio apresentaram maiores valores de crescimento. Quando comparado ao fungicida, a aplicação de fosfito de cálcio na dose 300 mL reduziu o comprimento da parte aérea e diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Tabela 2).

As fontes de fosfito influenciaram no comprimento das raízes, apenas de forma isolada ($F = 4,27$, $p = 0,0013$, $CV = 3,76$), com o fosfito de cálcio reduzindo o crescimento da raiz (35,8 cm). Quando comparado ao fungicida, nenhum tratamento apresentou incremento no comprimento das raízes (Tabela 2).

Para o diâmetro do caule ($F = 1,88$, $p = 0,008$, $CV = 4,29$) observou-se interação entre as fontes e doses de fosfito. Na dose de 150 mL, o fosfito de cálcio e potássio apresentaram menor diâmetro do caule diferindo das demais fontes, na dose 300 os fosfitos de cálcio e Titanium apresentaram menores valores, além desses fosfitos o fosfito de potássio na dose 600 mL apresentaram menores diâmetros, na dose 750 mL os menores valores foram observados nas plantas submetidas aos tratamentos com fosfito de cálcio, cobre e manganês. Nas demais doses não foram observadas diferenças (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores médios de Comprimento da Parte Aérea (CPA), Comprimento da Raiz (CR), Diâmetro do Caule (DC), Volume da Raiz (VR) e Relação entre o Comprimento da Parte Aérea pelo Diâmetro do Caule (CPA/DC) de plantas de feijão caupi oriundas de sementes inoculadas com *Fusarium* sp. em função do tratamento com diferentes fontes e doses de fosfito.

Esp: em ranço do tratamento com diferentes fontes e doses de fosfito.									
Fosfitos	Doses de fosfito mL L ⁻¹							Média	Modelo
	0	150	300	450	600	750	900		
CPA									
Ca	34,8 b	35,4 b	30,8 b ^T	37,1 a	36,3 a	35,4 a	43,3 a	36,1	$\hat{y} = 35,21 - 0,0119^{**}x + 0,00002^{**}x^2$ R ² : 0,65
Cu	36,5 b	33,3 b	42,6 a	38,7 a	36,6 a	38,6 a	36,1 b	37,5	$\bar{y} = 37,5$
K	35,8 b	36,7 b	38,6 a	35,3 a	37,4 a	39,4 a	37,5 b	37,2	$\bar{y} = 37,23$
Mg	38,1 a	37,3 b	37,3 a	38,8 a	38,3 a	38,0 a	40,6 a	38,3	$\bar{y} = 38,32$
Mn	39,0 a	52,3 a ^T	36,5 a	37,8 a	36,5 a	38,0 a	36,3 b	39,5	$\hat{y} = 43,402 - 0,0088^{**}x$ R ² : 0,25
Titanium®	42,9 a	38,5 b	37,5 a	35,0 a	38,3 a	37,6 a	34,8 b	37,8	$\hat{y} = 40,502 - 0,006^{**}x$ R ² : 0,52
Fungicida ^Φ									38,0
Média	37,8	38,9	37,2	37,1	37,2	37,8	38,1		
CR									
Ca	42,4	40,4	30,9	31,8	36,3	30,8	38,0	35,8 b	$\hat{y} = 43,058 - 0,0415x + 0,00004^{**}x^2$ R ² : 0,67
Cu	48,6	38,4	44,3	35,5	44,4	38,6	46,6	42,3 a	$\hat{y} = 46,973 - 0,0336x + 0,00004^{**}x^2$ R ² : 0,40
K	37,3	39,4	36,1	37,1	37,9	43,6	39,8	38,7 a	$\bar{y} = 38,72$
Mg	39,3	37,8	39,5	36,9	41,7	39,3	43,0	39,6 a	$\bar{y} = 39,62$
Mn	38,1	39,0	37,8	44,0	42,7	40,3	41,9	40,5 a	$\bar{y} = 40,52$
Titanium®	39,5	36,4	40,3	38,3	36,8	41,4	43,1	39,4 a	$\bar{y} = 39,37$
Fungicida ^Φ									36,25
Média	40,8	38,6	38,1	37,2	40,0	38,9	42,1		
DC									
Ca	7,21 a	6,61 b	6,92 b	7,41 a	7,08 b	6,85 b	7,64 a	7,1	$\bar{y} = 7,10$
Cu	7,53 a	7,96 a	7,81 a	8,79 a	8,14 a	6,99 b	7,41 a	7,8	$\hat{y} = 7,5185 + 0,0035x - 0,000004^{**}x^2$ R ² : 0,48
K	7,89 a	7,16 b	8,19 a	8,39 a	6,95 b	7,85 a	8,40 a	7,8	$\bar{y} = 7,83$
Mg	6,96 a	8,15 a	8,28 a	7,45 a	7,95 a	8,32 a	7,28 a	7,8	$\hat{y} = 7,227 + 0,0037x - 0,000004^{**}x^2$ R ² : 0,39
Mn	6,88 a	8,70 a	8,42 a	8,19 a	8,02 a	7,06 b	7,97 a	7,9	$\hat{y} = 7,4672 + 0,0036x - 0,000004^{**}x^2$ R ² : 0,27
Titanium®	8,08 a	7,77 a	7,26 b	8,19 a	7,07 b	7,86 a	8,01 a	7,7	$\bar{y} = 7,74$
Fungicida ^Φ									8,0
Média	7,42	7,72	7,81	8,07	7,54	7,49	7,78		
VR									
Ca	12,5 b	6,4 b ^T	14,4 b	12,5 b ^T	18,8 a	23,1 a	20,9 a	15,5	$\hat{y} = 8,75 + 0,015^{**}x$ R ² : 0,71
Cu	8,8 c ^T	18,4 a	18,8 a	21,3 a	21,5 a	15,6 b	6,9 c ^T	15,9	$\hat{y} = 9,1756 + 0,0588x - 0,00007^{**}x^2$ R ² : 0,95
K	18,1 a	18,1 a	25,3 a	22,1 a	20,0 a	9,4 c ^T	21,3 a	19,2	$\bar{y} = 19,2$
Mg	17,1 a	21,8 a	21,3 a	21,3 a	20,0 a	18,1 b	16,9 b	19,5	$\hat{y} = 18,167 + 0,0163x - 0,00002^{**}x^2$ R ² : 0,81
Mn	18,8 a	25,1 a	18,8 a	15,3 b	18,4 a	15,3 b	13,9 b	17,9	$\hat{y} = 21,634 - 0,0083^{**}x$ R ² : 0,51
Titanium®	22,5 a	20,0 a	17,3 b	19,4 a	18,1 a	14,9 b	20,6 a	19,0	$\bar{y} = 19,0$
Fungicida ^Φ									20,0
Média	16,3	18,3	19,3	18,6	19,5	16,1	16,7		
CPA/DC									
Ca	4,87 a	5,39 a	4,51 a	5,28 a	5,13 a	5,31 a	5,70 a	5,2	$\bar{y} = 5,17$
Cu	4,85 a	4,36 a	5,47 a	4,41 a	4,55 a	5,60 a	4,99 b	4,9	$\bar{y} = 4,88$
K	4,75 a	5,22 a	4,75 a	4,25 a	5,44 a	5,08 a	4,49 b	4,9	$\bar{y} = 4,85$
Mg	5,52 a	4,69 a	4,57 a	5,27 a	4,94 a	4,69 a	5,73 a	5,1	$\bar{y} = 5,1$
Mn	4,83 a	6,08 a	4,34 a	4,64 a	4,62 a	5,49 a	4,63 b	4,9	$\bar{y} = 4,94$
Titanium®	5,31 a	4,98 a	5,17 a	4,34 a	5,47 a	4,86 a	4,35 b	4,9	$\bar{y} = 4,92$
Fungicida ^Φ									4,8
Média	5,02	5,12	4,80	4,70	5,03	5,17	4,98		

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ^ΦFungicida Captana (240 g do produto para 100 kg de sementes); Titanium®: composto por fosfito de cobre, manganês e zinco; Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada dose de fosfito, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ^TDifere significativamente da aplicação de fungicida pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$); * e **: significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Verificou-se também que os fosfitos em comparação com a testemunha apresentam eficiência no desenvolvimento do diâmetro do caule ($F = 4,0$, $p < 0,04$). Quando comparado os fosfitos e suas doses com o fungicida a variável DC não apresentou diferenças (Tabela 2).

Para o volume da raiz, observou-se interação entre as fontes e doses de fosfito ($F = 8,55$, $p < 0,0001$, $CV = 7,18$). Nas doses 150, 300 e 450 mL, o fosfito de cálcio apresentou os menores valores de volume de raiz ($6,4 \text{ cm}^3$), ($14,4 \text{ cm}^3$) e ($12,5 \text{ cm}^3$), respectivamente, além dele na dose 300 o Titanium® reduziu o volume da raiz e na dose 450 mL. Na dose 600 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ não houve diferença entre as fontes de fosfito. Na dose 750 e 900 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ os fosfitos de potássio e cobre apresentaram menores volumes (9,4 mL e 6,9, respectivamente) (Tabela 2). Infere-se também que, quando foi aplicado fungicida ($F = 4,30$, $p < 0,04$) e o fosfito ($F = 4,82$, $p < 0,02$) quando comparado com a testemunha, a planta apresenta um maior volume de raiz. Observam-se diferenças significativas entre o fungicida e os fosfitos de cálcio nas doses 150 e 450 mL, o fosfito de potássio na dose 750 mL, e o fosfito de cobre na dose 900 mL, todos apresentando valores inferiores ao fungicida (Tabela 2).

Em relação ao comprimento da parte aérea por diâmetro do caule ($F = 1,73$, $p < 0,01$, $CV = 7,00$) observou-se interação entre as fontes e doses de fosfito, em que os fosfitos de cálcio e manganês apresentaram os maiores valores e diferiram das demais fontes de fosfito na dose 900, as demais não apresentaram diferenças. Quando comparadas as fontes de fosfito e suas doses com o fungicida não apresentaram diferenças (Tabela 2).

Observou-se interação entre as doses e fontes de fosfito para a variável massa da matéria seca da raiz ($F = 4,66$, $p < 0,0001$, $CV = 17,49$). Nas doses de 300, 450 e 600 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$, os tratamentos com fosfito não apresentaram efeito significativo. Para a dose 150 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ os fosfitos de magnésio e manganês apresentaram maiores massa seca de raiz (1,71 g). Quando submetida à dose 750 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ do Titanium® a planta apresentou maior massa de matéria seca da raiz (2,89 g), diferindo das demais fontes de fosfito. Enquanto, na dose de 900 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ a maior massa foi observada com fosfito de manganês (2,20 g). Maior incremento na massa da raiz foi observada na dose de 750 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ do Titanium® (Tabela 3) diferindo do fungicida.

Para a massa da matéria seca total (MMST), houve interação entre as doses e fontes de fosfito ($F = 2,61$, $p < 0,02$, $CV = 13,40$). Na dose 150 mL os fosfitos de cálcio e cobre apresentaram menores valores, as demais doses de fosfito não apresentaram diferenças. Quando se compara as fontes e suas doses com o fungicida, observa-se maior valor para o tratamento Titanium® na dose 750 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios de Massa da Matéria Seca da Parte Aérea (MMSPA), Massa da Matéria Seca da Raiz (MMSR), Massa da Matéria Seca Total (MMST), Relação entre a Massa da Matéria Seca da Parte Aérea pela Massa da Matéria Seca da Raiz (MMSPA/MMSR) de plantas de feijão caupi oriundas de sementes inoculadas com *Fusarium* sp., em função do tratamento com diferentes fontes e doses de fosfito.

Fosfitos		Doses de fosfito mL L ⁻¹							Média	Modelo
	0	150	300	450	600	750	900			
MMSR										
Ca	1,00 b	0,94 b	1,42 a	0,96 a	1,02 a	1,33 b	1,37 b	1,1	$\hat{y} = 0,9673 + 0,0014x - 0,000002 \cdot x^2$ R ² : 0,26	$\bar{y} = 1,14$
Cu	1,14 b	0,95 b	1,14 a	1,10 a	1,64 a	1,15 b	0,83 c	1,1		
K	1,54 a	0,94 b	1,22 a	1,37 a	1,09 a	1,06 b	1,52 b	1,2		$\bar{y} = 1,2$
Mg	0,90 b	1,71 a	1,33 a	1,07 a	1,27 a	1,50 b	1,10 c	1,3		$\bar{y} = 1,26$
Mn	1,79 a	1,42 a	1,11 a	1,06 a	1,24 a	1,15 b	2,20 a	1,4		$\hat{y} = 1,8543 - 0,0039x + 0,000005 \cdot x^2$ R ² : 0,85
Titanium®	1,74 a	0,90 b	1,06 a	1,50 a	1,07 a	2,89 a ^T	1,20 c	1,5	$y = 1,2276 + 0,0006 \cdot x$ R ² : 0,07	
Fungicida ^Φ										1,2
Média	1,35	1,14	1,21	1,18	1,22	1,51	1,37			
MMST										
Ca	4,79 a	4,47 b	5,31 a	5,00 a	5,29 a	5,28 a	7,36 a	5,4	$\hat{y} = 4,3596 + 0,0022 \cdot x$ R ² : 0,59 $\hat{y} = 4,8221 + 0,0067x - 0,000007 \cdot x^2$ R ² : 0,56	
Cu	5,38 a	4,95 b	5,82 a	6,54 a	7,15 a	5,77 a	5,00 a	5,8		
K	6,15 a	5,81 a	5,82 a	6,39 a	5,77 a	5,38 a	5,83 a	5,9		$\bar{y} = 5,87$
Mg	5,73 a	6,68 a	6,22 a	5,81 a	5,30 a	7,30 a	5,61 a	6,1		$\bar{y} = 6,06$
Mn	6,61 a	6,92 a	6,36 a	6,75 a	6,43 a	5,33 a	7,12 a	6,5		$\bar{y} = 6,50$
Titanium®	6,37 a	6,19 a	5,30 a	6,72 a	5,67 a	8,11 a ^T	6,08 a	6,3	$\bar{y} = 6,34$	
Fungicida ^Φ										6,0
Média	5,84	5,80	5,79	6,20	5,94	6,19	6,17			
MMSPA/MMSR										
Ca	3,76 a	4,90 a	2,81 b	4,30 a	4,26 a	3,00 a	4,58 a	3,9	$\hat{y} = 3,5018 + 0,0047x - 0,000006 \cdot x^2$ R ² : 0,32 $\hat{y} = 2,8553 + 0,0098x - 0,00001 \cdot x^2$ R ² : 0,90	$\bar{y} = 3,94$
Cu	3,72 a	4,21 a	4,19 a	5,10 a	3,54 a	4,08 a	5,24 a	4,3		$\bar{y} = 4,29$
K	3,09 a	5,22 a	3,86 a	3,73 a	4,62 a	4,48 a	2,87 b	4,0		
Mg	5,43 a	2,91 b	3,77 b	4,44 a	3,68 a	3,89 a	4,13 a	4,1		$\bar{y} = 4,1$
Mn	2,87 a	3,86 a	4,97 a	5,52 a	4,24 a	3,98 a	2,93 b	4,1		
Titanium®	3,11 a	5,94 a	4,35 a	3,71 a	4,42 a	1,81 b ^T	4,23 a	3,9	$\bar{y} = 3,93$	
Fungicida ^Φ										4,0
Média	3,66	4,57	4,00	4,47	4,13	3,54	4,00			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ^ΦFungicida Captana (240 g do produto para 100 kg de sementes); Titanium®: composto por fosfito de cobre, manganês e zinco; Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada dose de fosfito, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ^TDifere significativamente da aplicação de fungicida pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$); * e **: significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

A relação massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) pela massa da matéria seca da raiz (MMSR) apresentou interação entre as fontes e doses de fosfito ($F = 2,53$, $p < 0,0002$, $CV = 18,00$). Na dose 150 mL P₂O₅ L⁻¹ o menor valor foi obtido quando aplicado fosfito de magnésio, na dose 300 mL os fosfitos de magnésio e cálcio apresentaram menores valores, enquanto as doses 450 e 600 mL não diferiram. Na dose 750 mL, a aplicação de Titanium® apresentou menor valor e diferiu dos demais fosfitos e, na dose 900 mL, os menores valores foram encontrados nas plantas tratadas com os fosfitos de potássio e manganês. Quando comparadas, as doses de fosfito com o fungicida, a aplicação de Titanium® apresentou menor valor da relação MMSPA/MMSR (Tabela 3).

Para o índice de clorofila Falker a observa-se interação entre as doses e fontes de fosfito ($F = 1,64$, $p < 0,03$, $CV = 3,60$). As doses de 300, 450, 750 e 900 mL P₂O₅ L⁻¹ não apresentaram diferenças entre as fontes de fosfito. Os fosfitos de cobre, cálcio e magnésio na dose de 150 mL

$\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ exibiu o maior índice de clorofila Falker *a*. Quando submetidas à dose de 600 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ dos fosfitos de potássio e Titanium® as plantas de feijão-caupi evidenciaram menores índices, com valores de 32,4 e 30,8 respectivamente (Tabela 4).

Observa-se interação entre as doses e fontes de fosfito para o índice de clorofila Falker *b* ($F = 2,27$, $p < 0,0008$, $CV = 11,93$). Na dose 150 mL dos fosfitos de cobre e magnésio o teor de clorofila *b* apresentou incremento, na dose 300 mL a aplicação de fosfito de cálcio reduziu o teor de clorofila *b*, a dose 450 e 900 mL não apresentaram incremento, a dose 600 dos fosfitos potássio e Titanium® não apresentaram incremento no teor de clorofila *b* e na dose 750 mL de fosfito de cobre e magnésio as plantas apresentaram maior incremento no teor de clorofila *b* (Tabela 4).

A relação índice de clorofila Falker *a* por índice de clorofila Falker *b* apresentou interação entre as doses e fontes de fosfito ($F = 2,45$, $p < 0,0003$, $CV = 13,22$). As doses 150, 450, 600 e 900 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ não diferiram entre si. A dose de 300 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ apresentou maior valor (4,8) com fosfito de cálcio diferindo dos demais fosfitos de que apresentaram os menores valores. Na dose de 750 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ os fosfitos de cobre e magnésio apresentaram menores índices (Tabela 4).

Para a Fluorescência inicial (F_0), constata-se interação entre doses e fontes de fosfito ($F = 2,59$, $P < 0,0003$, $CV = 2,01$). Nas doses 150, 450 e 900 mL não foram observadas diferenças na fluorescência, a dose 300 mL apresentou maior fluorescência inicial as plantas tratadas com os fosfitos de cobre, magnésio e Titanium, a dose 600 mL de fosfito de Titanium reduziu a fluorescência inicial das plantas e diferiu das demais fontes, na dose 750 mL o fosfito de potássio apresentou maior fluorescência inicial. Quando comparados os tratamentos com o fungicida, a dose 750 mL de fosfito de potássio diferiu significativamente e apresentou maior valor.

Observa-se interação entre as doses e fontes de fosfito para a variável relação entre processos fotoquímicos e processos não fotoquímicos (F_v/F_0) ($F = 1,70$, $p < 0,02$, $CV = 6,62$). Observa-se que as fontes de fosfito não apresentaram efeito significativo quando submetidas às doses 150, 300, 450, 600 e 900 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$, nos processos fotoquímicos e não fotoquímicos. Apenas a dose de 750 mL $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ apresentou efeito significativo, obtendo-se o menor valor com o fosfito de potássio e cálcio (Tabela 4).

Tabela 4 – Índice de clorofila Falker *a* (ICF *a*), índice de clorofila Falker *b* (ICF *b*), índice de clorofila Falker total (ICF T), relação índice de clorofila Falker *a/b* (ICF *a/b*), Fluorescência inicial (F0), Relação entre processos fotoquímicos e processos não fotoquímicos (Fv/F0) e eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) de plantas de feijão caupi oriundas de sementes inoculadas com *Fusarium* sp. em função do tratamento com diferentes fontes e doses de fosfito.

Fosfitos	Doses de fosfito mL L ⁻¹							Média	Modelo
	0	150	300	450	600	750	900		
ICL <i>a</i>									
Ca	40,9 a	38,5 a	31,0 a	34,0 a	41,5 a	36,3 a	32,9 a	36,4	$\hat{y} = 34,048 + 0,0199x - 0,00003 \cdot x^2$ R ² : 0,69
Cu	35,3 a	42,7 a	33,3 a	39,8 a	38,9 a	37,4 a	35,8 a	37,6	
K	36,7 a	31,8 b	38,2 a	36,3 a	32,4 b	34,5 a	35,5 a	35,0	
Mg	32,8 a	39,4 a	36,8 a	36,1 a	37,9 a	34,9 a	31,3 a	35,6	
Mn	32,9 a	32,9 b	33,8 a	35,9 a	41,4 a	33,6 a	35,9 a	35,2	
Titanium®	37,7 a	32,9 b	34,6 a	34,2 a	30,8 b	34,4 a	36,5 a	34,4	
Fungicida ^Φ									33,9
Média	36,0	36,4	34,6	36,0	37,1	35,2	34,6		
ICL <i>b</i>									
Ca	14,66 a	14,08 b	7,53 b	12,73 a	15,82 a	9,58 b	13,20 a	12,5	$\hat{y} = 12,284 + 0,0131x - 0,00002 \cdot x^2$ R ² : 0,30
Cu	10,03 a	19,55 a	10,43 a	15,04 a	12,80 a	12,31 a	8,90 a	12,7	
K	13,83 a	8,97 b	14,75 a	12,37 a	8,78 b	8,03 b	13,16 a	11,4	
Mg	10,87 a	14,28 a	12,61 a	10,38 a	13,23 a	15,23 a	9,98 a	12,4	
Mn	10,07 a	9,63 b	13,48 a	14,02 a	13,79 a	8,73 b	11,07 a	11,6	
Titanium®	13,78 a	11,88 b	14,12 a	13,76 a	8,02 b	9,68 b	11,53 a	11,8	
Fungicida ^Φ									$\hat{y} = 13,671 - 0,0041 \cdot x$ R ² : 0,33
Média	12,3	13,06	12,15	13,05	12,07	10,59	11,31		10,2
ICL <i>a</i> /ICL <i>b</i>									
Ca	3,0 a	3,3 a	4,8 a	3,1 a	2,7 a	3,8 a	2,6 a	3,3	$\hat{y} = 3,4358 - 0,0035x + 0,000005 \cdot x^2$ R ² : 0,54
Cu	3,7 a	2,2 a	3,4 b	2,8 a	3,3 a	3,2 b	4,4 a	3,3	
K	2,8 a	3,8 a	2,6 b	3,3 a	4,0 a	4,5 a	2,9 a	3,4	
Mg	3,2 a	2,8 a	3,1 b	3,8 a	3,0 a	2,3 b	3,3 a	3,1	
Mn	3,4 a	3,5 a	2,9 b	2,6 a	3,0 a	4,5 a	3,6 a	3,4	
Titanium®	2,8 a	2,9 a	2,5 b	2,9 a	4,1 a	3,8 a	3,5 a	3,2	
Fungicida ^Φ									3,5
Média	3,2	3,1	3,2	3,1	3,3	3,7	3,4		
F0									
Ca	141,3 a	148,6 a	124 b	145,3 a	147,3 a	153,6 b	137 a	142,4	$\hat{y} = 153,1 - 0,0844x + 0,0001 \cdot x^2$ R ² : 0,37
Cu	157,3 a	127 a	154,6 a	129 a	135 a	142 b	155,6 a	142,9	
K	118 b	149,3 a	121,3 b	135 a	147 a	186 a ^T	128 a	140,6	
Mg	130,6 b	143 a	138,3 a	142 a	141,3 a	132,3 b	131 a	136,9	
Mn	146,6 a	133,6 a	132,6 b	140,6 a	142,3 a	134 b	135,3 a	137,9	
Titanium®	123,3 b	134,6 a	147,3 a	130,0 a	119,6 b	125,6 b	137 a	131,1	
Fungicida ^Φ									$\hat{y} = 126,8 + 0,0307 \cdot x$ R ² : 0,18
Média									$\bar{y} = 136,9$ $\bar{y} = 137,9$ $\bar{y} = 131,1$ 139,6
Fv/F0									
Ca	4,0 a	3,8 a	4,4 a	4,1 a	3,6 a	3,3 b	4,0 a	3,9	$\hat{y} = 3,5761 + 0,0034x - 0,000004 \cdot x^2$ R ² : 0,47
Cu	3,4 a	4,5 a	3,8 a	4,6 a	3,9 a	4,2 a	3,4 a	4,0	
K	4,3 a	4,0 a	4,6 a	4,0 a	3,6 a	3,0 b	4,5 a	4,0	
Mg	4,2 a	4,4 a	4,1 a	4,0 a	4,0 a	4,5 a	4,1 a	4,2	
Mn	3,9 a	3,9 a	4,5 a	4,3 a	3,9 a	4,3 a	4,0 a	4,1	
Titanium®	4,2 a	4,0 a	4,1 a	4,1 a	3,7 a	4,5 a	3,8 a	4,1	
Fungicida ^Φ									$\bar{y} = 3,89$ $\bar{y} = 3,99$ $\bar{y} = 4,16$ $\bar{y} = 4,10$ $\bar{y} = 4,06$ 4,0
Média	4,0	4,1	4,2	4,2	3,8	4,0	3,9		
Fv/Fm									
Ca	0,79 a	0,79 a	0,81 a	0,80 a	0,78 a	0,76 b	0,79 a	0,79	$\bar{y} = 0,79$ $\bar{y} = 0,79$ $\bar{y} = 0,79$ $\bar{y} = 0,80$ $\bar{y} = 0,80$ $\bar{y} = 0,79$ 0,79
Cu	0,76 a	0,81 a	0,77 a	0,82 a	0,79 a	0,80 a	0,76 a	0,79	
K	0,81 a	0,79 a	0,82 a	0,79 a	0,78 a	0,74 b	0,81 a	0,79	
Mg	0,80 a	0,81 a	0,80 a	0,79 a	0,80 a	0,81 a	0,80 a	0,80	
Mn	0,79 a	0,79 a	0,81 a	0,81 a	0,79 a	0,81 a	0,79 a	0,80	
Titanium®	0,80 a	0,79 a	0,80 a	0,80 a	0,77 a	0,81 a	0,79 a	0,79	
Fungicida ^Φ									
Média	0,79	0,80	0,80	0,80	0,78	0,79	0,79		

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ^ΦFungicida Captana (240 g do produto para 100 kg de sementes); Titanium®: composto por fosfito de cobre, manganês e zinco; Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada dose de fosfito, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ^TDifere significativamente da aplicação de

fungicida pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$); * e **: significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Evidencia-se a interação entre as doses e fontes de fosfito para a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) ($F = 1,69$, $P < 0,03$, $CV = 2,22$). As doses 150, 300, 450, 600 e 900 não apresentaram diferenças significativas. A dose de 750 mL de fosfito de potássio e cálcio reduziu a eficiência quântica do fotossistema II, diferindo das demais fontes. Não foram observadas diferenças entre as doses e fontes de fosfito com o fungicida (Tabela 4).

Os fosfitos reduziram a taxa de infecção da planta por *Fusarium* sp. de forma isolada, apresentando interação apenas nas médias ($F = 3,04$, $p < 0,01$, $CV = 103,82$). Apesar de não apresentarem diferenças entre as fontes de fosfito, a taxa de infecção foi inferior a apresentada na dose 0, demonstrando eficiência no controle do patógeno. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos e o fungicida (Tabela 5), mostrando a eficiência das fontes de fosfito.

Tabela 5 – Taxa de infecção (TI) em plantas de feijão caupi oriundas de sementes inoculadas com *Fusarium* sp. em função dos tratamentos com diferentes fontes e doses de fosfito.

Fosfitos	Doses de fosfito mL L ⁻¹							Média	Modelo
	0	150	300	450	600	750	900		
	TI								
Ca	62,5	50,0	37,5	50,0	25,0	25,0	12,5	37,5 a	$\bar{y} = 43,8$
Cu	62,5	50,0	37,5	50,0	12,5	37,5	37,5	41,1 a	$\bar{y} = 31,3$
K	87,5	0,0	50,0	37,5	25,0	62,5	50,0	44,6 a	$\bar{y} = 33,3$
Mg	50,0	37,5	37,5	0,0	37,5	62,5	50,0	39,3 a	$\bar{y} = 27,1$
Mn	75,0	62,5	12,5	37,5	25,0	62,5	12,5	41,1 a	$\bar{y} = 50,0$
Titanium®	75,0	62,5	12,5	25,0	37,5	50,0	12,5	39,3 a	$\bar{y} = 29,2$
Fungicida ^Φ									25,0
Média	68,8	43,8	31,1	33,3	27,1	50,0	29,2		

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ^ΦFungicida Captana (240 g do produto para 100 kg de sementes); Titanium®: composto por fosfito de cobre, manganês e zinco; Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada dose de fosfito, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ^TDifere significativamente da aplicação de fungicida pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$); * e **: significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As fontes de fosfito influenciaram na atividade da enzima peroxidase (POD), apenas de forma isolada ($F = 8,37$, $p < 0,001$, $CV = 19,72$), em que as fontes não diferiram entre si, contudo a média de fosfito de cobre quando comparada com a dose 0 apresentou uma pequena ativação na atividade enzimática. Quando se compara tratamentos com o fungicida é evidenciado, nas doses 150, 450 e 600 mL L⁻¹ que o fosfito de cobre, potássio e cálcio, respectivamente, apresentaram maior atividade enzimática (Tabela 6).

As fontes de fosfito influenciaram a atividade da enzima Polifenoloxidase (PPO) apenas de forma isolada ($F = 3,49$, $p < 0,003$, $CV = 88,58$). Os fosfitos não diferiram entre si, apresentando apenas um pequeno incremento quando comparados com a dose 0 mL, os fosfitos

de cobre e manganês. O fosfito e o fungicida não incrementaram na atividade da polifenoloxidase. Quando comparamos os tratamentos em relação ao fungicida não foram observadas diferenças (Tabela 6).

Tabela 6 – Atividade da Peroxidase (POD), Polifenoloxidase (PPO) e Fenilalanina amônia-liase (PAL) em plantas de Feijão caupi oriundas de sementes inoculadas com *Fusarium* sp. em função do tratamento com diferentes fontes e doses de fosfito.

Tratamento com diferentes fontes e doses de fosfato.										
Fosfitos	Doses de fosfito mL L ⁻¹							Média	Modelo	
	0	150	300	450	600	750	900			
POD UA min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína										
Ca	56,0 [‡]	23,3	41,4	39,3	58,8 [‡]	44,5	36,3	42,8 a	$\bar{y} = 42,8$	
Cu	41,4	76,0 [‡]	37,0	45,6	38,84	33,93	40,6	44,6 a	$\bar{y} = 44,6$	
K	307,2 [‡]	51,5	20,0	133,3 [‡]	17,15	24,1	18,9	81,7 a	$\hat{y} = 239,31 - 0,6892^{**}x + 0,0005^{**}x^2$ R ² : 0,60	
Mg	364,0 [‡]	35,8	38,1	42,4	38,0	35,7	31,7	85,5 a	$\hat{y} = 284,65 - 0,9903^{**}x + 0,0008^{**}x^2$ R ² : 0,71	
Mn	76,3 [‡]	41,5	27,6	40,5	44,1	41,1	55,6	46,7 a	$\bar{y} = 46,7$	
Titanium [®]	149,7 [‡]	21,0	20,0	21,7	24,3	16,9	36,1	41,4 a	$\hat{y} = 120,6 - 0,4201^{**}x + 0,0004^{**}x^2$ R ² : 0,73	
Fungicida ^Φ									11,9	
Média	165,8	41,7	30,7	53,8	36,7	32,7	36,5			
PPO UA min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína										
Ca	0,67	0,20	0,37	0,47	0,59	0,57	0,30	0,45 a	$\bar{y} = 0,45$	
Cu	0,13	0,43	0,35	0,28	0,44	0,18	0,22	0,30 a	$\bar{y} = 0,30$	
K	3,47 [‡]	0,61	0,41	2,15	0,36	0,27	0,30	1,08 a	$\hat{y} = 2,1836 - 0,0024^{**}x$ R ² : 0,40	
Mg	2,27	0,22	0,23	0,32	0,31	0,20	0,18	0,54 a	$\hat{y} = 1,1995 - 0,0015^{**}x$ R ² : 0,40	
Mn	0,43	0,46	0,25	0,28	0,37	0,40	1,05	0,46 a	$\bar{y} = 0,46$	
Titanium [®]	1,30	0,32	0,30	0,43	0,24	0,25	0,32	0,45 a	$\hat{y} = 0,786 - 0,0007^{**}x$ R ² : 0,41	
Fungicida ^Φ									0,20	
Média	1,38	0,38	0,32	0,65	0,39	0,31	0,40			
PAL UA min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína										
Ca	0,94 b	0,20 a	0,38 a	0,34 a	0,74 a	0,45 a	0,26 a	0,47	$\bar{y} = 0,47$	
Cu	0,31 b	0,50 a	0,35 a	0,33 a	0,57 a	0,23 a	0,26 a	0,36	$\bar{y} = 0,36$	
K	2,23 a [‡]	0,46 a	0,30 a	1,50 a	0,27 a	0,22 a	0,23 a	0,74	$\hat{y} = 1,443 - 0,0016^{**}x$ R ² : 0,40	
Mg	3,53 a [‡]	0,27 a	0,25 a	0,40 a	0,35 a	0,23 a	0,22 a	0,77	$\hat{y} = 2,7302 - 0,0097^{**}x + 0,000008^{**}x^2$ R ² : 0,70	
Mn	0,53 b	0,46 a	0,26 a	0,27 a	0,37 a	0,38 a	0,62 a	0,41	$\bar{y} = 0,41$	
Titanium [®]	1,55 a [‡]	0,27 a	0,23 a	0,36 a	0,24 a	0,20 a	0,30 a	0,45	$\hat{y} = 1,2457 - 0,004^{**}x + 0,000003^{**}x^2$ R ² : 0,71	
Fungicida ^Φ									0,15	
Média	1,52	0,36	0,30	0,53	0,42	0,29	0,31			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ^ΦFungicida Captana (240 g do produto para 100 kg de sementes); Titanium[®]: composto por fosfito de cobre, manganês e zinco; Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada dose de fosfito, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$); ^TDifere significativamente da aplicação de fungicida pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$); * e **: significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As fontes e doses de fosfito apresentaram efeito significativo para a ativação da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) ($F = 1,55$, $p < 0,04$, $CV = 77,40$). As doses e fontes de fosfito não diferiram entre si. A testemunha apresentou maior atividade enzimática que o fosfito ($F = 48,47$, $p < 0,0001$) e o fungicida ($F = 15,00$, $p < 0,001$).

2.4 DISCUSSÃO

As diferentes fontes e doses de fosfito apresentaram efeito fungistático no índice de velocidade do crescimento micelial, no percentual de inibição do crescimento micelial, na

esporulação e no percentual de inibição de esporulação de *Fusarium* sp. *in vitro*. Efeitos similares foram observados por Caixeta et al. (2012) que verificaram a ação inibitória do fosfito de potássio sobre *Colletotrichum lindemuthianum* e *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli*, reduzindo significativamente o crescimento micelial e a esporulação dos respectivos patógenos da cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Rocha et al. (2016b) observaram o efeito fungistático do fosfito de potássio sobre *Fusarium solani* da cultura do maracujazeiro (*Passiflora edulis*); Borin et al. (2017) comprovaram a eficiência dos fosfitos de potássio, cobre e manganês na inibição do crescimento micelial de *Fusarium verticillioides* e *Fusarium graminearum* em milho (*Zea mays* L.). Rodrigues et al. (2019) observaram efeito fungistático do fosfito de cobre e potássio no crescimento micelial, esporulação e germinação do *Colletotrichum musae* *in vitro*. Foi constatada por Solis-Palacios et al. (2021), eficiência da aplicação de fosfito na redução de 99,7 % da esporulação de *Fusarium* sp., agente causal da Pokkah boeng em cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). A aplicação de fosfito de potássio teve um efeito antifúngico significativo sobre *C. lindemuthianum*, reduzindo o crescimento micelial em 42% e a germinação em 48%, na dose de 5 mL L⁻¹ (Saldarriaga-Gómez et al., 2025).

O tratamento com Titanium[®] apresentou melhor eficiência na inibição de *Fusarium* sp. possivelmente pela composição de cobre, manganês e zinco. A ação fungistática de cada um desses fosfitos foi comprovada por Silva Júnior et al. (2025) que observaram a inibição de *C. truncatum* *in vitro*. A eficácia do fosfito de cobre foi comprovada em estudos realizados por Rodrigues et al. (2019) com *Colletotrichum musae* da bananeira.

Os fosfitos têm ação direta no patógeno, interferindo no metabolismo do fosfato na célula, causando acúmulo de polifosfatos e pirofosfatos, desviando o ATP de outras vias metabólicas, resultando em crescimento reduzido. Também inibe enzimas das vias glicolíticas e fosfogluconatos, interrompendo o metabolismo do fósforo ao competir com o fosfato como um regulador alostérico em várias enzimas (Dempsey et al., 2018; Morales-Morales et al., 2022). Além da ação direta, os fosfitos apresentam ação indireta, com potencial para estimular o crescimento das plantas (Costa et al, 2018). Diversas fontes de fosfito estão disponíveis no mercado, variando apenas em composição, propriedades, taxas de aplicação e o tipo de cátion ligado à molécula, além disso, apresenta uma excelente absorção e transporte pelas plantas, exibindo a propriedade de se mover através da planta via xilema e floema, facilitando sua aplicação e absorção (Silva Júnior et al., 2025).

Apesar da fácil absorção e translocação via xilema e floema, o fosfito não é oxidado ou metabolizado pela planta, não contribuindo com a nutrição de fósforo, portanto as células

vegetais não conseguem oxidar fosfito em fosfato (Havlin; Schlegel, 2021). As plantas tratadas com os diferentes fosfitos não apresentaram redução na massa seca, as tratadas com Titanium® apresentaram incremento na massa seca total da planta. Solis-Palacios et al. (2021) testando a aplicação individual e em conjunto de fosfito com *Trichoderma* sp. observaram redução no crescimento da parte aérea em cana-de-açúcar inoculada com *Fusarium* sp. e tratadas com fosfito. A aplicação de fosfito incrementou o rendimento, a biomassa e o crescimento de plantas de abacateiro (*Persea americana* Mill.) (Lovatt, 2013; Gómez-Merino; Trejo-Téllez, 2015). Esse fato também foi observado por Tambascio (2014) quando aplicado em plantas de batata (*Solanum tuberosum* L.).

Tonoli et al. (2021) observaram que não houve diminuição nos teores de clorofila e uma leve redução no rendimento quântico do fotossistema II em plantas de feijoeiro inoculadas com *Sclerotinia sclerotiorum* e tratadas com fosfito de cobre; em comparação as plantas tratadas apenas com água. Fagundes-Nacarath et al. (2018) observaram incremento nos teores de clorofila em plantas de feijão comum inoculadas com *S. sclerotiorum* e tratadas com fosfito de zinco. Neste trabalho os teores de clorofila e rendimento quântico do fotossistema II não apresentaram incrementos significativos entre os tratamentos, o fungicida e a testemunha. Com relação a Fluorescência inicial foi observado um incremento significativo nas plantas tratadas com fosfito de potássio na dose de 750 mL⁻¹.

A taxa de infecção não apresentou diferenças significativas quando tratadas com as diferentes fontes de fosfito, porém apresentou redução quando comparadas com as plantas tratadas apenas com água. as plantas não apresentaram sintomas visíveis da infecção por *Fusarium* sp. quando tratadas com as diferentes fontes de fosfito. Estudos realizados por Solis-Palacios et al. (2021) e por Cerqueira et al. (2017) comprovam a eficiência da aplicação de fosfito de potássio em plantas de cana-de-açúcar e *Pinus radiata*, respectivamente, na redução da infecção por *Fusarium* sp., diferindo dos obtidos no presente trabalho, onde as fontes de fosfito não se diferenciaram da testemunha na redução da TI.

As fontes de fosfito reduzem o ataque e progressão de fungos fitopatogênicos por meio da ação indireta, estimulando os mecanismos de defesa estruturais e bioquímicos em plantas (Yáñez-Juárez et al., 2018; Camochena et al., 2020). Essa ação está intimamente ligada a resistência sistêmica induzida, que é o aumento da capacidade de defesa de uma planta inteira contra uma ampla gama de patógenos após indução local por um elicitor, sendo as fontes de fosfito assim consideradas na presente pesquisa. Os elicitores de resistência desencadeiam uma cascata de sinais que irão ativar a defesa da planta. Após a sinalização até a defesa, ocorrem mudanças que podem ocorrer nos níveis fisiológico, molecular e epigenético (Mauch-Mani et

al., 2017). Nesse trabalho as plantas tratadas com fosfito de cobre e cálcio, nas doses 150 e 600 mL P_2O_5 L⁻¹ respectivamente, apresentaram incremento na atividade da peroxidase quando comparado ao tratamento controle com fungicida, enquanto as enzimas polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase não incrementos significativos a atividade enzimáticas e as defesas das plantas.

O único estímulo/tratamento para indução da defesa da planta via semente pode não ser observado 30 dias após semeio. Para esse trabalho o tratamento via semente não ativou efetivamente a memória da planta, essa ocorre quando mudanças epigenéticas acontecem, o estímulo do Priming torna a planta capaz de adquirir uma memória vegetal que pode durar semanas ou a vida da planta ou até mesmo ser herdadas por gerações subsequentes (Mauch-Mani et al., 2017).

2.5 CONCLUSÃO

O produto à base de fosfito, Titanium[®], foi eficiente na inibição do crescimento micelial e na esporulação de *Fusarium* sp. *in vitro*, na dose de 624 mL P_2O_5 L⁻¹.

O fosfito Titanium[®] proporcionou incremento na massa da matéria seca total de plantas de feijão-caupi tratadas com fontes de fosfito.

Não houve influência das fontes e doses de fosfito nos teores de clorofila e da fluorescência das plantas de feijão caupi tratadas.

As fontes de fosfito apresentaram eficiência na redução da taxa de infecção das plantas com *Fusarium* sp.

O fosfito de cobre e cálcio apresentaram incremento na atividade da peroxidase quando comparado ao tratamento controle com fungicida.

Para as enzimas polifenoloxidase e fenilalanina-amônia liase não houve incremento na atividade das enzimas em plantas de feijão-caupi tratadas com fontes de fosfito.

REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. **Métodos em fitopatologia**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, p. 516, 2016.
- AMORIM, L., REZENDE, J. A. M., BERGAMIN FILHO, A., CAMARGO, L. E. A. Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas. **São Paulo: Agronômica Ceres**, v. 2, p. 5, 2016.
- BORIN, R. C.; POSSENTI, J. C.; REY, M. S.; BERNARDI, C.; MAZARO, S. M. Fosfitos associados a fungicidas para controle de doenças e sanidade de sementes de milho. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 10, n. 1, p. 83–92, 2017.
- BORIN, R. C.; POSSENTI, J. C.; REY, M. S.; MAZARO, S. M.; BERNARDI, C.; DEUNER, C.; SABURO, R. S. S. Desempenho fisiológico e indução de resistência de sementes de milho tratadas com fungicidas associados a fertilizantes à base de fosfitos. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 33321–33338, 2019.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 1976.
- CAIXETA, A. O.; VIEIRA, B. S.; CANEDO, É. J. Efeito do fosfito de potássio sobre fungos fitopatogênicos do feijoeiro. **Cerrado Agrociências**, v. 3, p. 35–43, 2012.
- CAMOCHENA, R. C.; STEILMANN, P.; SANTOS, I.; DALLEMOLE-GIARETTA, R.; OLIVEIRA, M. C. Ação de fosfitos de potássio no manejo de mofo branco em soja. **Summa Phytopathologica**, v. 46, n. 3, p. 260–266, 2020.
- CERQUEIRA, A.; ALVES, A.; BERENGUER, H.; CORREIA, B.; GOMEZ-CADENAS, A.; DIEZ, J. J.; MONTEIRO, P.; PINTO, G. Phosphite shifts physiological and hormonal profile of Monterey pine and delays *Fusarium circinatum* progression. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 114, p. 88–99, 2017.
- COSTA, B. H. G.; RESENDE, M. L. V. de; MONTEIRO, A. C. A.; RIBEIRO JÚNIOR, P. M.; BOTELHO, D. M. D. S.; SILVA, B. M. D. Potassium phosphites in the protection of common bean plants against anthracnose and biochemical defence responses. **Journal of Phytopathology**, v. 166, n. 2, p. 95–102, 2018.
- DEMPSEY, J.; WILSON, I.; SPENCER-PHILLIPS, P.; ARNOLD, D. Suppression of the in vitro growth and development of *Microdochium nivale* by phosphite. **Plant Pathology**, v. 67, p. 1296–1306, 2018.
- DUANGMAL, K.; APENTEN, R. K. O. A comparative study of polyphenol oxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). **Food Chemistry**, London, v.64, p.351-359, 1999.

FAGUNDES-NACARATH, I. R. F.; DEBONA, D.; BRÁS, V. V.; SILVEIRA, P. R.; RODRIGUES, F.A. Phosphites attenuate *Sclerotinia sclerotiorum*-induced physiological impairments in common bean. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, p. 198, 2018.

GÓMEZ-MERINO, F. C.; TREJO-TÉLLEZ, L. I. Biostimulant activity of phosphite in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 82–90, 2015.

HAO, Y.; LI, Y.; PING, X.; YANG, Q.; MAO, Z.; ZHAO, J.; LU, X.; XIE, B.; YANG, Y.; LING, J. The genome of *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* provides insight into the evolution of genomes and effectors of *Fusarium oxysporum* species. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, p. 963, 2023.

HAVLIN, J. L.; SCHLEGEL, A. J. Review of phosphite as a plant nutrient and fungicide. **Soil Systems**, v. 5, n. 3, p. 52, 2021.

LOVATT, C. J. Properly timing foliar-applied fertilizers increases efficacy: a review and update on timing foliar nutrient applications to citrus and avocado. **HortTechnology**, v. 23, n. 5, p. 536–541, 2013.

MAIA, F. R. Cowpea bean production (*Vigna unguiculata unguiculata* (L.) Walp): a drought-resistant plant is very common in regions of the Brazilian semi-arid. **Journal of Interdisciplinary Debates**, v. 4, n. 4, p. 242–263, 2023.

MAUCH-MANI, B.; BACCELLI, I.; LUNA, E.; FLORS, V. Defense priming: an adaptive part of induced resistance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 68, p. 485–512, 2017.

MELO, P. C. D.; COLLELA, C. F.; SOUSA, T.; PACHECO, D.; COTAS, J.; GONÇALVES, A. M. M.; BAHCEVANDZIEV, K.; PEREIRA, L. Seaweed-based products and mushroom β -glucan as tomato plant immunological inducers. **Vaccines**, v. 8, p. 1–13, 2020.

MÉLO-FILHO, L. R.; GUENTHER, M. Induced systemic resistance as a sustainable alternative to agricultural pesticides. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, p. 27, 2015.

MCKINNEY, H. H. Influence of soil, temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v. 26, n. 5, p. 195–217, 1923.

MENEZES, M. **Fungos fitopatogênicos**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 1993.

MORALES-MORALES, E. J.; MARTÍNEZ-CAMPOS, Á. R.; LÓPEZ-SANDOVAL, J. A.; CASTILLO GONZÁLEZ, A. M.; RUBÍ-ARRIAGA, M. Los fosfitos y sus aplicaciones en la agricultura. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 13, n. 2, p. 345–354, 2022.

NASCIMENTO, K. J. T.; ARAUJO, L.; RESENDE, R. S.; SCHURT, D. A.; SILVA, W. L. D.; RODRIGUES, F. D. Á. Silicon, acibenzolar-S-methyl and potassium phosphite in the control of brown spot in rice. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p. 212–221, 2016.

ROCHA, F. D. S.; FERREIRA, G. H. S.; SILVA, T. C. S. R.; AMARAL, F. L.; MUNIZ, M. D. F. S.; PEREIRA, E. A. Caracterização de *Fusarium solani* f. sp. *piperis*, produção de fitotoxina e incidência da fusariose no norte de Minas Gerais. **Summa Phytopathologica**, v. 42, p. 67–72, 2016a.

ROCHA, G. G.; RODRIGUE, G. B.; SANTOS, A.; JESUS, W. C. D.; NOVAES, Q. S. D. Efeito de fosfito de potássio no crescimento e na densidade micelial do *Fusarium solani* do maracujazeiro. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 2, p. 180–182, 2016b.

RODRIGUES, M. L. M.; MIZOBUTSI, E. H.; PRATES, P. J. L.; DUARTE, P. V. L.; RIBEIRO, R. C. F.; PINHEIRO, J. M. S.; MIZOBUTSI, G. P.; FERNANDES, M. B.; SILVA, L. S. “Phosphite-Based Products in the In Vitro *Colletotrichum musae* Control”. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 33, n. 4, p. 1-9, 2019.

RONCATO, M. C.; PASCHOLATI, S. F. Alterações na atividade e no perfil eletroforético da peroxidase em folhas de milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) tratadas com leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.55, n.3, p.395-402, 1998.

SALDARRIAGA-GÓMEZ, C.; PAEZ-MONROY, P. N.; GONZÁLEZ-ALMARIO, A. A potassium phosphite solution as a dual-action strategy against bean anthracnose: antifungal activity and defense gene priming. **Horticulturae**, v. 11, n. 5, p. 462, 2025.

SASSERON, G. R.; BENCHIMOL-REIS, L. L.; PERSEGUINI, J. M. K. C.; PAULINO, J. F. C.; BAJAY, M. M.; CARBONELL, S. A. M.; CHIORATO, A. F. *Fusarium oxysporum* f. sp. *phaseoli* genetic variability assessed by new developed microsatellites. **Genetics and Molecular Biology**, v. 43, n. 2, 2020.

SEIFERT, K.; MORGAN-JONES, G.; GAMS, W.; KENDRICK, B. **The genera of Hyphomycetes**. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2011.

SILVA, H. F.; PINTO, K. M. S.; NASCIMENTO, L. C.; SILVA, E. C.; SOUZA, W. C. O. Avaliação do uso de elicitores de resistência bióticos e abióticos contra a antracnose na videira (*Vitis labrusca* L.). **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 1, p. 70–75, 2019.

SILVA JÚNIOR, M. B.; RESENDE, M. L. V.; POZZA, E. A.; RESENDE, A. R. M.; SILVEIRA, G. C. D.; VEIGA, J. D.; OLIVEIRA, J. M.; SILVA, A. C. da. Phosphite compounds suppress anthracnose in soybean seeds infected by *Colletotrichum truncatum* and stimulate growth and defense mechanisms. **Plants**, v. 14, n. 10, p. 1494, 2025.

SOLIS-PALACIOS, R.; HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, G.; SALINAS-RUIZ, J.; HIDALGO-CONTRERAS, J. V.; GÓMEZ-MERINO, F. C. Effect and compatibility of phosphite with *Trichoderma* sp. isolates in the control of the *Fusarium* species complex causing pokkah boeng in sugarcane. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1099, 2021.

TAMBASCIO, C.; COVACEVICH, F.; LOBATO, M. C.; DE LASA, C.; CALDIZ, D. O.; DOSIO, G. A. A.; ANDREU, A. B. The application of K phosphites to seed tubers

enhanced emergence, early growth and mycorrhizal colonization in potato (*Solanum tuberosum*). **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 1, 2014.

TONOLI, A. L.; DOS ANJOS, B. B.; BELAN, L. L.; CAMARA, G. R.; CASTRO, L. H. S.; PEREIRA, J. P.; CAVATTE, P. C.; XAVIER, A. S.; MORAES, W. B. Phosphonates and SAR-trigger elicitors reducing the intensity of white mold in common bean. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 128, p. 273–278, 2021.

UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica**, Best Dagan, v.34,n.1, p.68-71, 2006.

YÁÑEZ-JUÁREZ, M. G.; LÓPEZ-ORONA, C. A.; AYALA-TAFOYA, F.; PARTIDA-RUVALCABA, L.; VELÁZQUEZ-ALCARAZ, T. D. J.; MEDINA-LÓPEZ, R. Los fosfitos como alternativa para el manejo de problemas fitopatológicos. **Revista Mexicana de Fitopatología**, v. 36, n. 1, p. 79–94, 2018.

**3 Capítulo III – FOSFITOS COMO ESTRATÉGIA PARA MITIGAR FUSARIOSE E
ESTRESSE SALINO EM *Vigna unguiculata* (L.) Walp**

COSTA, M. M. L. **Fosfitos como estratégia para mitigar fusariose e estresse salino em *Vigna unguiculata* (L.) Walp.** Universidade Federal da Paraíba (Doutorado em Agronomia). Areia, PB. 2025.

RESUMO

Os estresses bióticos e abióticos são os principais fatores responsáveis pelas perdas na produtividade das culturas, incluindo o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Buscando minimizar essas perdas, o uso de fontes de fosfíto vem sendo estudado como um mitigador desses estresses. Desse modo, o presente estudo tem como objetivo avaliar as fontes de fosfitos na redução de estresse biótico e abiótico em feijão-caupi. As fontes de fosfíto utilizadas foram o fosfíto de cálcio, fosfíto de cobre, fosfíto de manganês e Titanium®, na dose recomendada pelo fabricante, uma testemunha e um tratamento adicional com fungicida (Amistar® – 0,012g m⁻² e Thiobel® – 0,071 g m⁻²). As sementes foram inicialmente desinfestadas, tratadas e inoculadas pelo método de suspensão com o fungo *Fusarium* sp., e após plantio, foram tratadas via foliar com quatro aplicações, estas foram realizadas a cada 7 dias, iniciando 21 dias após o semeio. Foram avaliados o potencial hidrogeniônico e a condutividade elétrica da água drenada; a altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas; o índice de clorofila Falker *a*, *b*, *a/b* e total; fluorescência da clorofila *a*, com as variáveis: fluorescência inicial, fluorescência media, fluorescência variável, eficiência quântica do fotossistema II e relação processos fotoquímicos e não fotoquímicos; trocas gasosas, com as seguintes variáveis: condutância estomática (Gs) (mol m⁻² s⁻¹), resistência estomática (Rs), transpiração (E) (mmol H₂O m⁻² s⁻¹), assimilação líquida de CO₂ (A) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), concentração de CO₂ nos espaços intercelulares (Ci) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), eficiência no uso da água (EUA=A/E), eficiência intrínseca no uso da água (EiUA=A/Gs) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC=A/Ci). Para avaliar a indução de resistência, foram coletadas uma folha por planta para obtenção do extrato e quantificação da peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase. A avaliação da taxa de infecção das plantas inoculadas foi realizada ao final do ciclo da planta, como também foi quantificada a produtividade de vagem, grãos e total. A água de irrigação com condutividade 3,0 dS m⁻¹ reduziu a atividade da clorofila, a fluorescência da clorofila *a* e as trocas gasosas. As plantas inoculadas com *Fusarium* sp. reduziram os teores de clorofila *a* e clorofila total. As plantas inoculadas e submetidas a água de irrigação com condutividade 3,0 dS m⁻¹ apresentaram maior atividade da enzima peroxidase. As plantas inoculadas e tratadas com as fontes de fosfíto de cálcio, manganês e Titanium® apresentaram maior atividade da enzima peroxidase.

Palavras-chave: *Fusarium* sp.; salinidade; resistência induzida; Peroxidase.

COSTA, M. M. L. **Phosphite sources as a strategy to mitigate Fusarium wilt and salt stress in cowpea**. Federal University of Paraíba. (Doctorate in Agronomy). Areia, PB. 2025.

ABSTRACT

Biotic and abiotic stresses are the main factors responsible for losses in crop productivity, including cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Seeking to minimize these losses, the use of phosphite sources has been studied as a mitigator of these stresses. Thus, the present study aims to evaluate phosphite sources in reducing biotic and abiotic stress in cowpea. The phosphite sources used were calcium phosphite, copper phosphite, manganese phosphite, and Titanium[®], at the manufacturer's recommended dose, a control, and an additional fungicide treatment (Amistar[®] – 0.012 g m⁻² and Thiobel[®] – 0.071 g m⁻²). The seeds were initially disinfected, treated, and inoculated using the suspension method with the fungus *Fusarium* sp., and after planting, they were treated foliarly with four applications, carried out every 7 days, starting 21 days after sowing. The hydrogen ion potential and electrical conductivity of the drained water were evaluated; plant height, stem diameter, number of leaves; Falker chlorophyll index *a*, *b*, *a/b* and total; chlorophyll *a* fluorescence, with the variables: initial fluorescence, average fluorescence, variable fluorescence, quantum efficiency of photosystem II and the relationship between photochemical and non-photochemical processes; Gas exchange, with the following variables: stomatal conductance (Gs) (mol m⁻² s⁻¹), stomatal resistance (Rs), transpiration (E) (mmol H₂O m⁻² s⁻¹), net CO₂ assimilation (A) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), CO₂ concentration in intercellular spaces (Ci) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), water use efficiency (WUE=A/E), intrinsic water use efficiency (EiWUE=A/Gs) and instantaneous carboxylation efficiency (EiC=A/Ci). To assess the induction of resistance, one leaf per plant was collected to obtain the extract and quantify peroxidase, polyphenol oxidase, and phenylalanine ammonia-lyase. The infection rate of inoculated plants was evaluated at the end of the plant cycle, and pod, grain, and total yield were also quantified. Irrigation water with a conductivity of 3.0 dS m⁻¹ reduced chlorophyll activity, chlorophyll *a* fluorescence, and gas exchange. Plants inoculated with *Fusarium* sp. showed reduced levels of chlorophyll *a* and total chlorophyll. Plants inoculated and irrigated with water with a conductivity of 3.0 dS m⁻¹ showed higher peroxidase enzyme activity. Plants inoculated and treated with calcium phosphite, manganese, and Titanium[®] sources showed higher peroxidase enzyme activity.

Keywords: *Fusarium* sp.; Salinity; induced resistance; *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

3.1 INTRODUÇÃO

A espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp., conhecida como feijão-caupi, feijão-de-corda, feijão-macassar, é uma leguminosa de importância social, econômica e nutricional, por ser um dos principais constituintes da dieta alimentar e fonte de renda nas regiões semiáridas do Brasil (Jayawardhane et al., 2022). Essa leguminosa tem grande importância no combate à fome, pois seu grão contém de 20 a 29% de proteínas, 56 a 74 % de amido e uma alta concentração de fibras alimentares, vitaminas e minerais e quantidades reduzidas de lipídios, aproximadamente 2% (Frota et al., 2008).

O feijão-caupi auxilia na redução da erosão do solo, sendo relativamente tolerante ao déficit hídrico, altas temperaturas e alta salinidade (Jayawardhane et al., 2022). Sua produção é dividida entre grãos que são comercializados e sementes, que tradicionalmente são utilizadas no próximo ciclo da cultura, costume cultural da agricultura familiar da região Nordeste (Sobrinho et al., 2023). O uso de poucas tecnologias para produção, juntamente com os fatores bióticos e abióticos reduz a produtividade da cultura (Oliveira et al., 2021).

Um importante fator que causa perdas severas na produtividade e qualidade da cultura que será comercializada e que causa redução no seu valor comercial, são as doenças, pois causam diminuição na qualidade fisiológica, nutricional e sanitária. Esses fungos apresentam estruturas de resistência que sobrevivem no solo por vários anos, sendo capaz de colonizar as raízes ou até mesmo a parte aérea das plantas (Demartelaere et al., 2021). Dentre os fungos de solo, o *Fusarium* spp. é um dos mais importantes por causar perdas severas nas plantas cultivadas, pois causa uma ampla gama de doenças radiculares (Andrade et al., 2021). Em feijão-caupi esse fungo destrói as células vasculares, inibindo o crescimento e a produtividade, com perdas de rendimento que chegam a 70% (Liu et al., 2023). Um outro fator de impacto negativo na produção é a salinidade das águas de irrigação. Plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com água com altas concentrações salinas tem a altura da planta, fotossíntese e transpiração afetados negativamente como também seu florescimento retardado e maior abortamento de flores (Borborema et al., 2025).

Para minimizar os efeitos negativos do estresse salino as plantas aumentam a atividade de enzimas antioxidantes, alteram o transporte de íons e induzem hormônios vegetais. Outrossim, muitos métodos são usados para reduzir os danos causados pela salinidade nas plantas, como o desenvolvimento de novas cultivares por meio de melhoramento convencional e tecnologia transgênica, bem como a aplicação de compostos exógenos (Liu et al., 2023).

Os fosfitos, um grupo de sais inorgânicos derivado do ácido fosforoso (H_3PO_3), destacam-se como produtos alternativos para minimizar os efeitos negativos dos estresses bióticos e abióticos e seu uso tem sido ampliado nos últimos anos (Li et al., 2025). Eles são eficazes no controle de alguns patógenos, com modo de ação direto, através da inibição do crescimento micelial e esporulação, e modo de ação indireto pelo estímulo das respostas de defesa do hospedeiro (Fagundes-Nacarath et al., 2018) e quando utilizado como mitigador de estresse abiótico o fosfito aumenta a tolerância na planta e auxilia na absorção e assimilação de nutrientes (Mohammadi et al., 2021).

A salinidade causa suscetibilidade na planta a patógenos, sendo importante investigar a influência da aplicação de diferentes fontes de fosfito na tolerância da planta a estresses bióticos e abióticos; de modo isolada e em conjunto. Assim, esta pesquisa tem como objetivo analisar a influência das fontes de fosfito na indução de resistência em plantas de feijão-caupi ao *Fusarium* sp. e ao estresse salino.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido na casa de vegetação pertencente ao Laboratório de Fitopatologia, do Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais do Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), município de Areia-PB. As sementes tradicionais de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), cultivar Barba Guiné, foram obtidas com produtores do assentamento Queimadas, do município de Remígio – PB (Latitude: 6° 53' 30" Sul, Longitude: 35° 49' 51" Oeste). As sementes foram selecionadas, através da observação visual, descartando as malformadas e/ou sob ataque de pragas.

3.2.2 Obtenção do isolado de *Fusarium* sp.

Foram coletadas plantas e vagens de feijão-caupi com sintomas de doença e utilizadas para o isolamento do patógeno. Após desinfecção os fragmentos de 5 mm e as sementes foram transferidos para placas de Petri (90 x15mm) contendo meio batata-dextrose-ágar (BDA) permanecendo por 7 dias em câmara de crescimento à 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 h.

Após o desenvolvimento das colônias fúngicas e identificação em microscópio óptico através da observação das estruturas vegetativas e reprodutivas e comparação com a literatura

específica (Menezes, 1993; Seifert et al., 2011), foram realizadas repicagem para obtenção das colônias puras, estas foram armazenadas em câmeras do tipo Biochemical Oxygen Demand (BOD) à 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas.

3.2.3 Inoculação das sementes de feijão-caupi

As sementes foram inicialmente desinfestadas, com hipoclorito de sódio a 1% por três minutos, lavadas com ADE e colocadas sobre papel toalha para retirada do excesso de umidade à 25 ± 2 °C. O tratamento foi realizado pela imersão das sementes em recipiente contendo os tratamentos durante cinco minutos, sendo incubadas em placas de Petri com papel de filtro estéril.

Após 24 horas, as sementes foram inoculadas com *Fusarium* sp., pelo método de suspensão. Para obtenção da suspensão foram adicionados 10 mL de ADE na placa de Petri contendo a colônia fúngica para a liberação dos esporos. Em câmara de Neubauer foram quantificados os esporos e a suspensão ajustada a 1×10^5 esporos por mL^{-1} , sendo as sementes imersas por cinco minutos na suspensão, na sequência as sementes foram armazenadas em placas contendo papel filtro estéril.

Em casa de vegetação, foi realizada a semeadura após 24 horas da inoculação, em vaso com capacidade para 15 litros contendo solo. Foram semeadas 5 sementes por vaso a profundidade de aproximadamente 2 cm e o desbaste foi realizado no 12º dia após o plantio, permanecendo duas plantas/vaso.

3.2.4 Tratamentos

Os tratamentos foram aplicados preventivamente nas sementes e via foliar com quatro aplicações, realizadas a cada sete dias, iniciando 21 dias após plantio. As sementes foram tratadas com as fontes de fosfitos e o fungicida Captana (240 g do produto para 100 kg de sementes). Na aplicação via foliar os fungicidas foram aplicados de modo intercalada, onde a primeira e terceira aplicação foi utilizado o fungicida Thiobel® e a segunda e quarta aplicação o fungicida Amistar®, com o intuito de evitar o máximo possível de aparecimento de doenças fúngicas. As fontes de fosfito e os fungicidas foram aplicados nas concentrações recomendadas pelo fabricante, como mostra a Tabela 1.

Os tratamentos via foliar foram organizados em fatorial $4 \times 2 \times 2 + 6$, com três repetições, representando as fontes de fosfito (fosfito de cobre, fosfito de manganês, fosfito de

cálcio e Titanium[®]), com e sem inoculação de *Fusarium* sp., com e sem salinidade (3,0 dS/m) e seis tratamentos adicionais, sendo dois controles padrões com fungicida (Amistar[®] – 0.012 g m⁻² e Thiobel[®] – 0.071 g m⁻²) inoculados e com presença e ausência de salinidade e quatro testemunhas tratadas com ADE, com e sem inoculação e com e sem salinidade.

Tabela 1 – Doses de fosfito e fungicidas de acordo com as recomendações do fabricante utilizada para tratar as sementes e aplicação via foliar nas plantas de feijão-caupi.

	Fosfito de cobre (82,6 g P ₂ O ₅ L ⁻¹)	Fosfito de cálcio (270,0 g P ₂ O ₅ L ⁻¹)	Fosfito de manganês (444,0 g P ₂ O ₅ L ⁻¹)	Titanium (72,0 g P ₂ O ₅ L ⁻¹)	Amistar [®]	Thiobel [®]
	--- g para 126 kg ha ⁻¹ ---					
Dose	2,00	2,50	1,25	0,40	0,12	0,71

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Titanium[®]: composto por fosfito de cobre, manganês e zinco

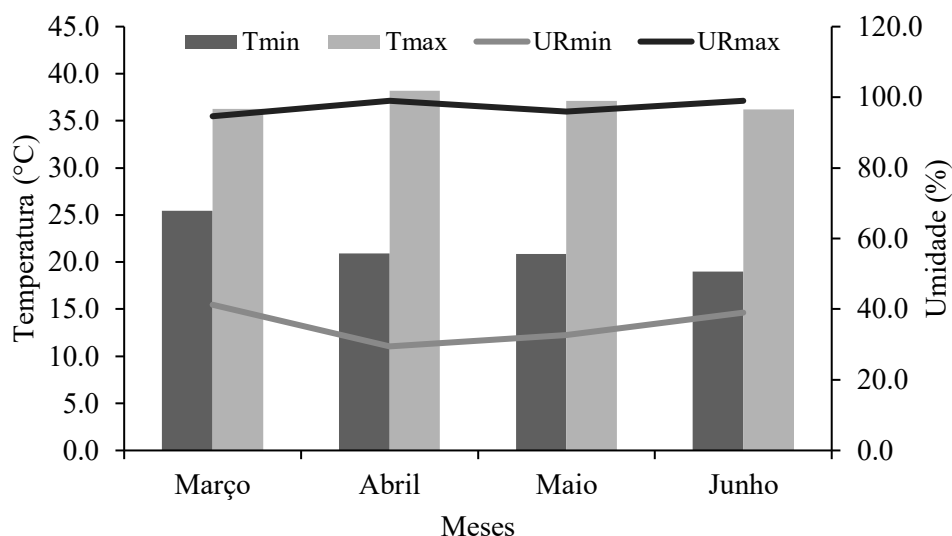
3.2.5 Irrigação com água salina

Um dia antes da semeadura, os vasos foram colocados em capacidade de campo. Após a semeadura, a irrigação passou a ocorrer uma vez ao dia, manualmente, com água potável e água salina. Para obtenção da água salina, foi coletada água de poço artesiano no Sítio Chã de Pia, pertencente ao município de Areia, cuja análise físico-química da água está no anexo I. Para obtenção da condutividade de 3 dS m⁻¹, foi acrescentado água potável na água salina até obtenção da salinidade requerida, que foi aferida por um medidor portátil de condutividade e pH, modelo Hanna HI9811-5.

Inicialmente a irrigação foi realizada com 30 mL de água por vaso, de acordo com os tratamentos; aumentando com o desenvolvimento das plantas. Quinzenalmente, os vasos foram colocados em capacidade de campo, e, após 24 horas, era verificada a quantidade de água drenada, com o auxílio de uma proveta graduada.

Foi realizada a análise da condutividade elétrica e do pH da água drenada na última capacidade de campo. No interior da casa de vegetação foi instalado termo higrômetro, modelo FEPRO-MUT600S da Exbom[®], para registrar a temperatura e a umidade relativa do ar (Gráfico 1).

Figura 1 – Valores médios de temperatura e umidade relativa do ar na casa-de-vegetação durante a condução do experimento.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025.

O manejo da adubação foi baseado nas recomendações de Cavalcanti (2008) e na análise de fertilidade do solo (Tabela 2). A adubação com NPK foi utilizando como fonte de nitrogênio a ureia, de fosforo o superfosfato simples e de potássio o cloreto de potássio. As adubações foram realizadas de forma manual, sendo aplicados por vaso 29,35 g de ureia, 142 g de superfosfato simples e 29,9 g de cloreto de potássio. Foi realizada a adubação em plantio de P e K e uma de cobertura de N.

Tabela 2 – Análise química e fertilidade do solo utilizado para cultivo do feijão-caupi.

Química e Fertilidade											
pH	P	S	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ⁺³	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	SB	CTC	MO
H ₂ O	-----mg/dm ³ -----			-----Cmol./dcm ³ -----							
(1:2,5)											
6,7	7,07	-	91,43	0,03	0,25	0,05	1,20	0,93	2,39	2,64	11,31

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025.

As plantas foram avaliadas até a produção. As avaliações fisiológicas e agrônômicas foram realizadas na floração, 70 dias após a semeadura; a taxa de infecção e colheita foram realizadas no final do ciclo da cultura.

3.2.6 Avaliações morfoagronômicas

Aos 70 dias após o plantio (DAP) foram avaliadas a altura da planta, distância entre o colo da planta e a gema apical, mensurados com régua milimetrada; diâmetro do caule, aferido

1 cm acima do substrato, utilizando paquímetro digital; e número de folhas, por contagem visual;

3.2.7 Avaliações fisiológicas

Os parâmetros fisiológicos avaliados das plantas oriundas das sementes tratadas e inoculadas, foram: fluorescências iniciais (F_o), máxima (F_m) e variável ($F_v = F_m - F_o$) da clorofila 'a', relação entre processos fotoquímicos e não fotoquímicos (F_v/F_o) e rendimento quântico do fotossistema II (F_v/F_m), utilizando o fluorômetro (Sciences Inc.- Model OS-30p, Hudson, USA) após adaptação das folhas ao escuro, com o auxílio de uma pinça colocada na folha por 30 minutos. Os índices foliares de clorofila "a", "b" e "total" e relação clorofila "a/b" com clorofilômetro portátil (ClorofiLOG®, modelo CFL 1030), foram avaliados no período das 08h00 às 12h00 tendo os valores dimensionados em índice de clorofila Falker (ICF).

As avaliações das trocas gasosas foram determinadas com o auxílio do analisador de gás no infravermelho - IRGA (modelo LI-6400XT, LI-COR®, Nebraska, USA) com fluxo de ar de $300 \mu\text{mol s}^{-1}$ e fonte de luz acoplada de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo as medições aferidas no período entre as 8h00 e 12h00 da manhã. Foram avaliadas a assimilação líquida de CO_2 (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração de CO_2 nos espaços intercelulares (C_i) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência no uso da água ($\text{EUA} = A/E$), eficiência intrínseca no uso da água ($\text{EiUA} = A/\text{gs}$), eficiência instantânea de carboxilação ($\text{EiC} = A/C_i$) e temperatura foliar (TF) ($^{\circ}\text{C}$).

3.2.8 Determinação da atividade enzimática

3.2.8.1 Preparação do extrato enzimático

Aos 70 dias após o semeio foram coletadas, no início da manhã, duas folhas do terço médio da planta para a determinação da atividade enzimática das enzimas peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase. As amostras foram previamente identificadas e armazenadas em freezer. Amostras de 1,0 g de folhas, correspondendo a cada tratamento, foram maceradas em almofariz com nitrogênio líquido e acrescida 10 mL de acetato de sódio, até a obtenção de uma massa homogênea. Os extratos foram centrifugados por 15 minutos a 12000 rpm, a -4°C . O sobrenadante foi transferido para microtubos de 1,5 mL do tipo Eppendorf.

Para a determinação das proteínas totais foi utilizado o método proposto por Bradford (1976), no qual foi adicionado, em cubetas de quartzo, 1000 μL da solução de Bradford a 100 μL da amostra. Após 15 minutos em temperatura ambiente procedeu-se a leitura da amostra na absorvância de 595 nm em espectrofotômetro (GENESYS™ 10S UV VIS).

3.2.8.2 Atividade da Peroxidase (POD)

A atividade da enzima peroxidase (POD) foi determinada por meio da reação de conversão do guaiacol em tetraguaiacol, através da guaiacol peroxidase, adaptada de (Roncato; Pascholati, 1998) pela adição de 0,25 mL de extrato enzimático ao meio de reação contendo 0,25 mL de guaiacol (1,7%), 0,75 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,0) e 0,25 mL de H_2O_2 (1,8%), totalizando um volume de 1,5 mL. O Branco foi composto do meio de reação, exceto o extrato enzimático que foi substituído por ADE. A obtenção da atividade enzimática foi expressa em espectrofotômetro, pela variação da absorvância, no comprimento de onda de 470 nm, a 25 °C e expressa em Unidades de Absorvância (UA). $\text{Min}^{-1} \cdot \text{Mg}^{-1}$ de proteína.

3.2.8.3 Atividade da Polifenoloxidase (PPO)

A polifenoloxidase (PPO) foi obtida pela conversão de catecol em quinona, por meio da adição de 0,25 mL de extrato enzimático ao meio de reação contendo 0,25 mL de 4-metilcatecol (60 mM), 0,75 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,8) e 0,25 mL de ADE. O Branco foi composto do meio de reação, exceto o extrato enzimático que foi substituído por ADE. As amostras foram incubadas em tubos de ensaio por 15 minutos em banho maria na temperatura de 40 °C. Após este período foi adicionada 0,8 mL de ácido perclórico (2,0 M) para a paralisação da atividade. Na sequência, procedeu-se com a determinação da atividade enzimática expressa em espectrofotômetro no comprimento de onda de 395 nm, a 25 °C e expressa em Unidades de Absorvância (UA). $\text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ de proteína (Duangmal; Apenten, 1999).

3.2.8.4 Atividade da Fenilalanina amônia-liase (PAL)

A atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) foi determinada adicionando-se 0,25 mL do extrato enzimático em tubos de ensaio com a adição de 1,5 mL da solução de tampão TRIS 0,01 M (pH 8,8) e 1,25 mL de ADE. Como referência foi realizada a primeira leitura com o “Branco”, que foi composto por 1,5 mL da solução tampão Tris-HCl 0,01 M, 0,5

mL de solução de fenilalanina e 1 mL de ADE. Os tubos contendo as amostras foram incubadas em banho-maria a 40 °C, durante 60 minutos. Em seguida as amostras foram paralisadas com a adição de 0,1 mL de ácido clorídrico a 5,0 M. A leitura foi realizada em cubeta de quartzo no espectrofotômetro pela variação da absorbância, no comprimento de onda de 290 nm, a 25 °C e os resultados foram expressos em Unidades de Absorbância (UA). $\text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ de proteína (Umesha, 2006).

3.2.9 Produtividade

Foram colhidas as vagens das plantas quando estavam secas. A produtividade foi determinada a partir da média obtida pela pesagem da vagem com e sem sementes e das sementes de cada, em balança de precisão e expressa em grama (g) e determinada por planta por tratamento.

3.2.10 Taxa de infecção

Para a Taxa de Infecção (TI) de *Fusarium* spp. nas plantas de feijão-caupi retiraram-se fragmentos de 0,5 mm na área do colo a aproximadamente 1,0 cm acima do solo, com e bisturis estéril. Cada fragmento foi desinfestado com álcool 70% por 30 segundos e hipoclorito de sódio 1% por três minutos, seguido de duplo enxague com ADE. Os fragmentos de tecido vegetal infectados foram transferidos para placas de Petri contendo BDA, permanecendo por oito dias à 25 °C e fotoperíodo de 12 horas.

A TI foi obtida a partir dos fragmentos com crescimento fúngico, em função do número de plantas avaliadas em cada parcela, sendo expressa em porcentagem (Teixeira e Machado 2003).

A confirmação da etiologia do patógeno foi realizada com microscópio ótico através da observação das estruturas vegetativas e reprodutivas e comparação com a literatura específica (Menezes, 1993; Seifert et al., 2011).

3.2.11 Análise estatística

Os dados foram inicialmente avaliados quanto à normalidade (Anderson-Darling) e homogeneidade das variâncias (Bartlett e Levene), considerando até 5% de probabilidade. Em seguida, realizou-se a análise de variâncias (teste F, $p \leq 0,05$) e as médias foram comparadas

pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Também se realizou análise contraste entre os fosfitos e o fungicida sob irrigações com água de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ (Y1) e de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Y2), dos tratamentos inoculadas, utilizando o teste F ($p \leq 0,05$) para se verificar a significância. As análises foram realizadas no software SAS® On Demand for Academics.

3.3 RESULTADOS

Os efeitos das fontes de fosfíto e sua eficiência em mitigar os danos causados pela água salina e a inoculação com *Fusarium* sp. em plantas de feijão-caupi cultivadas em casa de vegetação são apresentados a seguir.

A análise de variância (Tabela 1) apresenta evidências da interação entre as fontes de fosfíto, água salina e plantas inoculadas para a variável potencial hidrogeniônico (pH), enquanto a condutividade elétrica da água drenada (CE), água irrigada (Irrigação) e o número de folhas (NF) apresentaram efeito da condutividade da água apenas de forma isolada.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância e contrastes para as variáveis Potencial hidrogeniônico (pH) e Condutividade elétrica da água drenada (CE), Água irrigada (Irrigação), Altura de plantas (Alt), Diâmetro de caule (Dm), relação altura pelo diâmetro do caule (Alt/Dm) e Número de folhas (NF) de plantas de feijão-caupi em função da água de irrigação e inoculação com *Fusarium* sp. e tratadas com fontes de fosfíto.

FV	GL	pH	CE	Irrig	Alt	Dm	Alt/Dm	NF
Bloco	2	0.0021**	0.35 ^{ns}	37.63 ^{ns}	235.3**	0.0009 ^{ns}	6.04**	0.001 ^{ns}
<i>Fusarium</i> -Fu	1	0.00003 ^{ns}	0.01 ^{ns}	5.39 ^{ns}	6.14 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.81 ^{ns}	0.006 ^{ns}
Água -A	1	0.029**	3.53**	1406.5**	2.24 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.025**
Fosfíto-Fo	4	0.0001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	54.16 ^{ns}	5.62 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.82 ^{ns}	0.0007 ^{ns}
Fu x A	1	0.0002 ^{ns}	0.004 ^{ns}	10.87 ^{ns}	5.82 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.95 ^{ns}	0.0006 ^{ns}
Fu x Fo	4	0.00003 ^{ns}	0.026 ^{ns}	3.75 ^{ns}	14.4 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.98 ^{ns}	0.002 ^{ns}
A x Fo	4	0.0003**	0.030 ^{ns}	30.80 ^{ns}	34.3 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.003 ^{ns}
Fu x A x Fo	4	0.0013**	0.004 ^{ns}	47.62 ^{ns}	0.68 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.003 ^{ns}
Y 1	1	0.0001 ^{ns}	1.60 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.05 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Y 2	1	0.00002 ^{ns}	0.005 ^{ns}	60.03 ^{ns}	5.90 ^{ns}	0.000007 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.0005 ^{ns}
Resíduo	42							
CV%		1.67	59.3	2.19	12.1	4.66	14.6	5.88

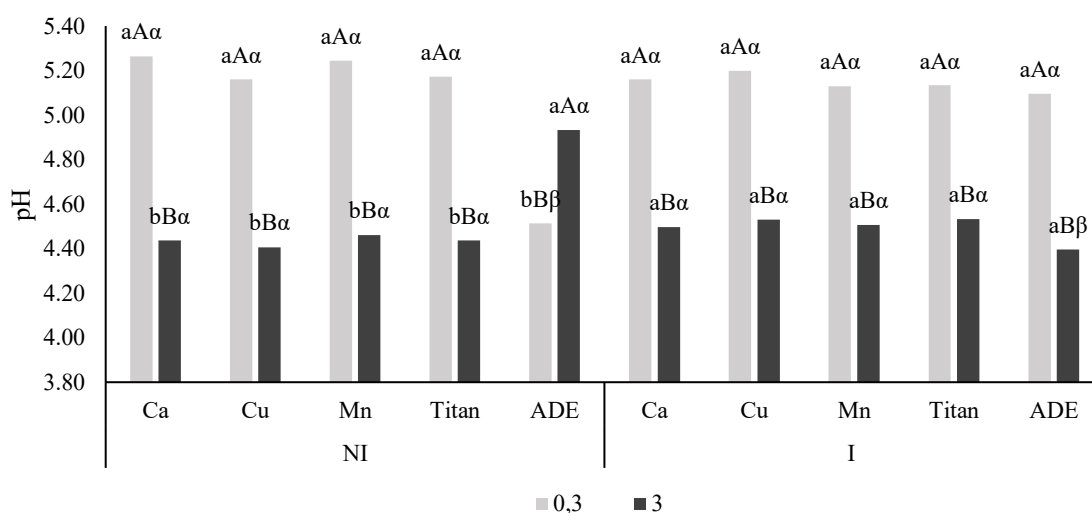
Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ns * e ** não significativo e significativo a 5 e 1% pelo teste F; Y1 comparação de fosfíto com fungicida – água com baixa salinidade e Y2 comparação de fosfíto com fungicida – água com salinidade; Fu: *Fusarium* sp.; A: Água com condutividade $3,0 \text{ dS m}^{-1}$; Fo: fosfíto.

As plantas inoculadas e não inoculadas com condutividade $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ apresentaram diferenças significativas da testemunha (ADE), onde as plantas inoculadas apresentaram pH superior às não inoculadas, enquanto as plantas submetidas a condutividade $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ sem inoculação apresentou maior pH em relação a inoculada (Figura 1).

Com relação a condutividade elétrica, as plantas submetidas a irrigação com $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, apresentaram valores superiores de pH em relação as plantas irrigadas com $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, com exceção da testemunha não inoculada, que apresentou valor de pH superior na condutividade $3,0 \text{ dS m}^{-1}$. Ao comparar-se as plantas tratadas com fosfito e irrigadas com $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ apenas a testemunha diferiu estatisticamente apresentando menor valor. Para as plantas submetidas a irrigação $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ a testemunha apresentou maior valor e diferiu das plantas tratadas com fosfito (Figura 1).

Nas plantas inoculadas e irrigadas com $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ a aplicação de fosfito não interferiu nos valores de pH; contudo esses valores foram superiores aos observados nas plantas irrigadas com $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ e tratadas ou não com fosfito (Figura 1).

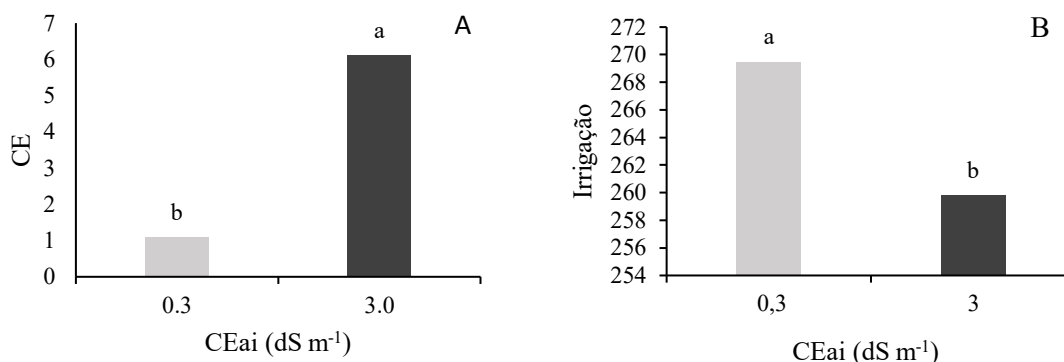
Figura 2 – Potencial hidrogeniônico da água drenada dos vasos com plantas de feijão-caupi inoculadas (I) e não inoculadas (NI) com *Fusarium* sp. submetidas a irrigação com $0,3$ e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ e tratadas com diferentes fontes de fosfito.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de cada fonte de fosfito não diferiram pelo teste de Tukey; médias seguidas das mesmas letras maiúsculas, dentro de cada condutividade não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey e Médias seguidas pela mesma letra grega, entre plantas inoculadas e não inoculadas não diferiram pelo teste de Tukey.

A condutividade elétrica da água drenada, proveniente da água de irrigação com $0,3$ e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ apresentou efeito isolado apenas da água de irrigação (Tabela 1), em que a água drenada das plantas que foram irrigadas com $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ apresentou menores valores de condutividade elétrica e diferiu estatisticamente da água drenadas das plantas que foram irrigadas com $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 2A).

Figura 3 – Valores médios de Condutividade elétrica (CE) (A) da água drenada dos vasos com plantas de feijão-caupi inoculadas e não inoculadas com *Fusarium* sp. submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹ e tratadas com diferentes fontes de fosfito. Valores médios da quantidade de água requeridas pelas plantas na irrigação (B).

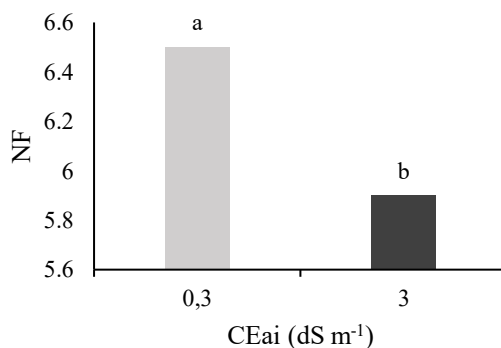


Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferiram pelo teste de Tukey;

Com relação a quantidade de água requerida pelas plantas de feijão-caupi (Figura 2B), foi observado efeito isolado apenas para a condutividade elétrica (Tabela 1), em que as plantas irrigadas com água 0,3 requereram maior consumo de água, diferindo das plantas submetidas a irrigação com 3,0 (Figura 2B).

Para o número de folhas observou-se efeito apenas de forma isolada pela água de irrigação (Tabela 1). As plantas submetidas a irrigação com 0,3, apresentaram maiores valores e diferiram das plantas com irrigação 3,0 (Figura 3).

Figura 4 – Valores médios do Número de folhas (NF) em plantas de feijão-caupi inoculadas e não inoculadas com *Fusarium* sp. submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹ e tratadas com diferentes fontes de fosfito.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferiram pelo teste de Tukey;

A análise de variância (Tabela 2) para o Índice de clorofila Falker *a* (ICF *a*) apresenta efeito da inoculação com *Fusarium* sp. apenas de forma isolada. As variáveis índice de clorofila Falker *b* (ICF *b*), relação índice de clorofila Falker *a/b* (ICF *a/b*), relação entre processos

fotoquímicos e processos não fotoquímicos (Fv/F0) e a eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) apresentaram efeito de forma isolada. As plantas submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹ da água. O índice de clorofila Falker total (ICF *t*) apresentou efeito de forma isolada para os parâmetros inoculação e condutividade da água de irrigação.

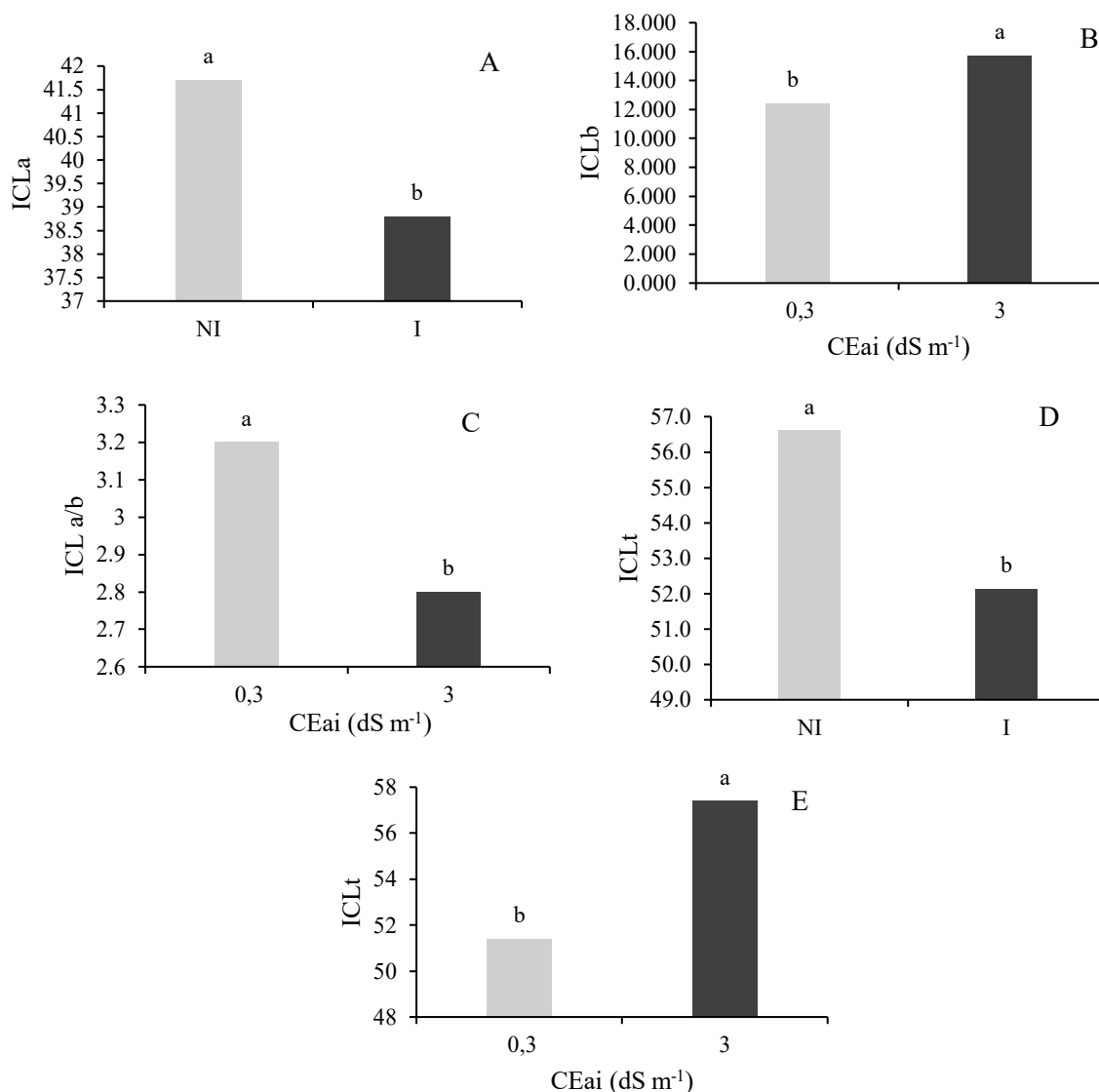
Tabela 4 – Resumo da análise de variância e contrastes para as variáveis Índice de clorofila Falker *a* (ICF *a*), índice de clorofila Falker *b* (ICF *b*), índice de clorofila Falker total (ICF *t*), relação índice de clorofila Falker *a/b* (ICF *a/b*), Fluorescência inicial (Fo), Fluorescência média (Fm), Fluorescência variada (Fv), Relação entre processos fotoquímicos e processos não fotoquímicos (Fv/F0) e a Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) de plantas de feijão caupi em função da água de irrigação e inoculação com *Fusarium* sp. e tratadas com fontes de fosfito.

FV	GL	ICFa	ICFb	ICFa/b	ICFt	Fo	Fm	Fv	Fv/Fo	Fv/Fm
Bloco	2	0.003 ^{ns}	0.027 ^{ns}	0.008*	136.08 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.61**	0.00003**
<i>Fusarium</i> - Fu	1	0.015**	0.03 ^{ns}	0.001 ^{ns}	301.3*	0.009 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.000001 ^{ns}
Água-A	1	0.012 ^{ns}	0.114**	0.03**	542.4**	0.01 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.40**	0.00002*
Fosfito-Fo	4	0.005 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	65.4 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.000007 ^{ns}
Fu x A	1	0.0009 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.40 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.000004 ^{ns}
Fu x Fo	4	0.0047 ^{ns}	0.004 ^{ns}	0.002 ^{ns}	54.9 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.000006 ^{ns}
A x Fo	4	0.003 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.001 ^{ns}	65.5 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.000004 ^{ns}
Fu x A x Fo	4	0.003 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	46.10 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.13 ^{ns}	0.000009 ^{ns}
Y 1	1	0.012 ^{ns}	0.016 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	189.5 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.000006 ^{ns}
Y 2	1	0.0004 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	22.2 ^{ns}	0.00005 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.000008 ^{ns}
Resíduo	42									
CV%		3.67	8.61	8.37	15.47	2.69	1.92	2.02	6.33	0.959

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ns * e ** não significativo e significativo a 5 e 1% pelo teste F; Y1 comparação de fosfito com fungicida – água com baixa salinidade e Y2 comparação de fosfito com fungicida – água com salinidade; Fu: *Fusarium* sp.; A: Água com condutividade 3,0 dS m⁻¹; Fo: fosfito.

O índice de clorofila Falker *a* (ICF *a*) (Figura 2A) nas plantas não inoculadas apresentaram maiores valores e diferiram das plantas inoculadas que apresentaram teores de clorofila *a* inferiores. Para o índice de clorofila Falker *b* (ICF *b*) (Figura 2B) as plantas submetidas a irrigação com água salina (3,0 dS m⁻¹) apresentaram maiores índices e diferença significativa das irrigadas com água de condutividade 0,3 dS m⁻¹, demonstrando os efeitos negativos da salinidade da água nas plantas. Para a relação índice de clorofila Falker *a/b* (ICF *a/b*) (Figura 2C) as plantas submetidas a irrigação com água com condutividade 0,3 dS m⁻¹ apresentaram maiores índices e diferiram das plantas submetidas a irrigação com água com 3,0 dS m⁻¹, plantas submetidas a água de irrigação com salinidade tem uma menor eficiência da fotossíntese causada pelo estresse salino.

Figura 5 – Valores médios de Condutividade elétrica (A) da água drenada dos vasos com plantas de feijão-caupi inoculadas (I) e não inoculadas (NI) com *Fusarium* sp. submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹. Valores médios da quantidade de água utilizada na irrigação (B). Relação Índice de clorofila Falker *a/b* (ICF *a/b*) de plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 ds m⁻¹ (C). Índice de clorofila Falker total (ICF *t*) de plantas de feijão-caupi inoculadas e não inoculadas com *Fusarium* sp. (D) e submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹ (E).



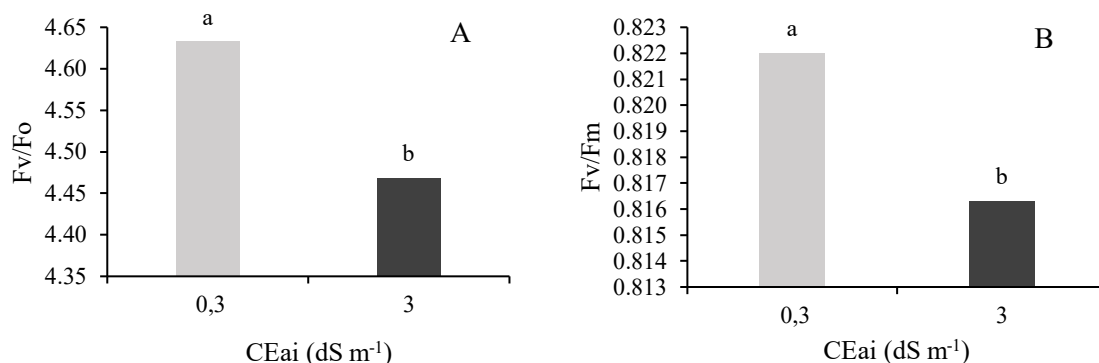
Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferiram pelo teste de Tukey;

As plantas inoculadas com *Fusarium* sp. (Figura 2D) apresentaram menores valores de clorofila total e diferiu das não inoculadas. Os valores são reflexo dos danos causados pela infecção por *Fusarium* sp. pois este patógeno causa estresse hídrico secundário na planta causando fechamento parcial dos estômatos. Esses resultados também se refletem nos valores do índice das plantas submetidas a irrigação com condutividade elétrica 3,0 dS m⁻¹ (Figura 2E) que apresentaram os maiores valores de clorofila total e diferiram das plantas irrigadas com 0,3

dS m^{-1} . Os estresses causados pela salinidade tem efeito secundário no fechamento parcial dos estômatos reduzindo, aumentando os valores do pigmento acessório clorofila *b* e consequentemente aumentando o índice de clorofila total.

A salinidade da água ($3,0 \text{ dS m}^{-1}$) afetou significativamente os parâmetros fisiológicas associadas a fluorescência da clorofila.

Figura 6 – Valores médios da Relação entre processos fotoquímicos e processos não fotoquímicos (F_v/F_0) (A) e da Eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) (B) das plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com 0,3 e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ e tratadas com diferentes fontes de fosfôto.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferiram pelo teste de Tukey;

Os parâmetros de fluorescência da clorofila (Figuras 5A e 5B) foram significativamente afetados pela salinidade da água. A condutividade elétrica ($3,0 \text{ dS m}^{-1}$) apresentou redução expressiva nos valores da Relação entre processos fotoquímicos e processos não fotoquímicos (F_v/F_0) e a Eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m), quando comparadas com plantas cultivadas sob baixa salinidade ($0,3 \text{ dS m}^{-1}$). O estresse hídrico reduz a eficiência do PSII, afetando assim a taxa de transporte de elétrons, um parâmetro fisiológico fundamental na fotossíntese, refletindo a eficiência da conversão de energia luminosa em energia química pelo sistema de pigmentos fotossintéticos.

A análise de variância (Tabela 3) para a condutância estomática (G_s), resistência estomática (R_s), concentração interna de carbono (C_i), relação carbono interno sobre carbono atmosférico (C_i/C_a), transpiração (E), assimilação de CO_2 (A), eficiência instantânea do uso de água (EUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) apresentaram efeito de forma isolada nas plantas submetidas a irrigação com 0,3 e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ da água.

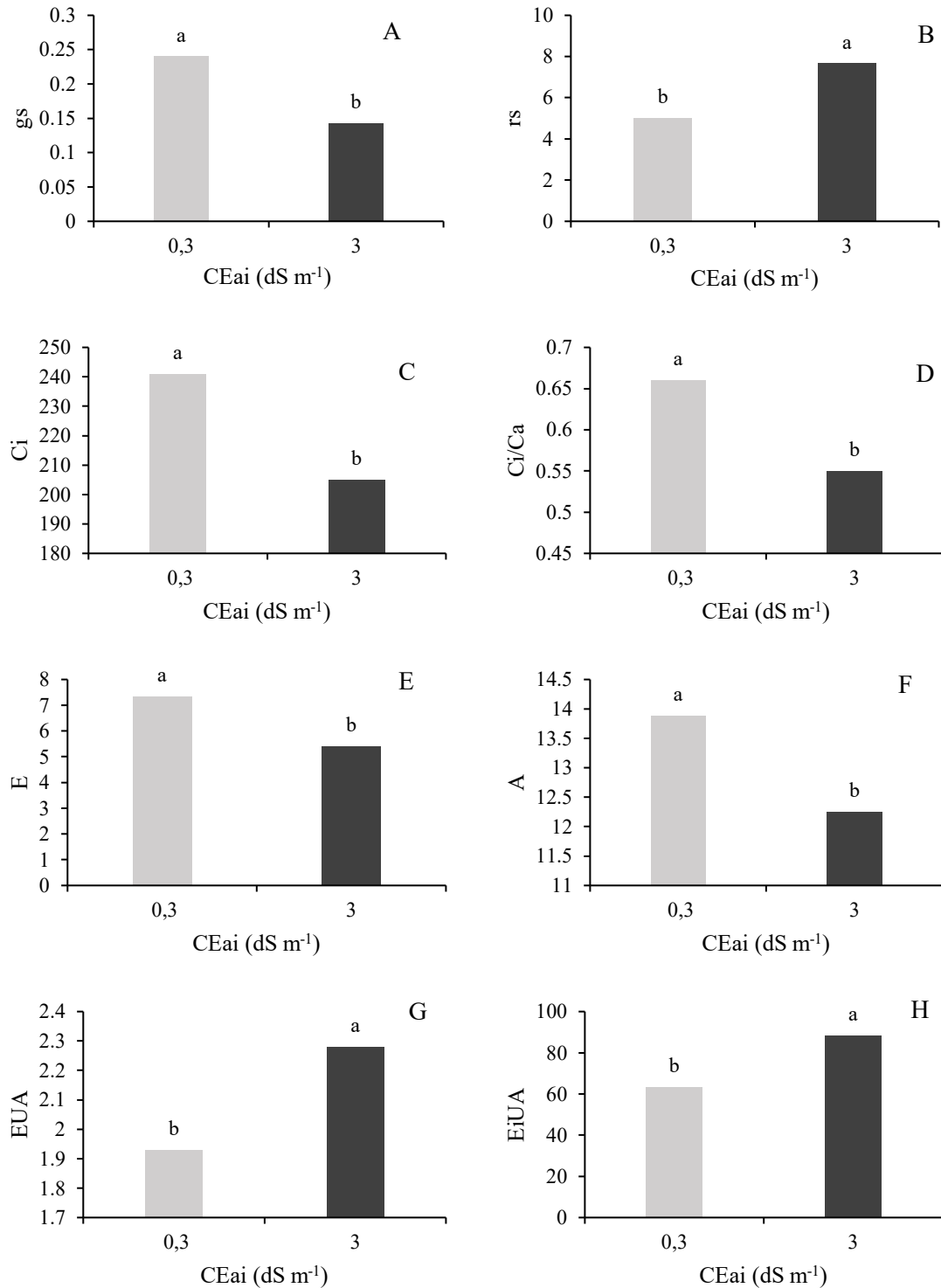
Tabela 5 – Resumo da análise de variância e contrastes para as variáveis Condutância estomática (Gs), Resistência estomática (Rs), Concentração interna de carbono (Ci), Relação carbono interno sobre carbono atmosférico (Ci/Ca), Transpiração (E), Assimilação de CO₂ (A), Eficiência instantânea do uso de água (EUA), Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e Eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) de plantas de feijão caupi em função da água de irrigação e inoculação com *Fusarium* sp. e tratadas com fontes de fosfíto.

FV	GL	gs	rs	Ci	Ci/Ca	E	A	EUA	EiUA	EiCi
Bloco	2	0.001 ^{ns}	0.047 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	17.3 ^{**}	37.2 [*]	0.003 ^{ns}	0.0018 ^{ns}	0.0009 ^{**}
Fusarium- Fu	1	0.001 ^{ns}	0.064 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.00061 ^{ns}	6.68 ^{ns}	18.05 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Água-A	1	0.017 ^{**}	0.440 ^{**}	0.071 ^{**}	0.012 ^{**}	56.77 ^{**}	40.22 [*]	0.03 ^{**}	0.34 ^{**}	0.00006 ^{ns}
Fosfíto- Fo	4	0.0014 ^{ns}	0.031 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0002 ^{ns}	4.53 ^{ns}	9.34 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Fu x A	1	0.0001 ^{ns}	0.029 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	3.29 ^{ns}	7.13 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.00004 ^{ns}
Fu x Fo	4	0.0001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.00005 ^{ns}	0.39 ^{ns}	3.87 ^{ns}	0.0012 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
A x Fo	4	0.001 ^{ns}	0.028 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	2.58 ^{ns}	7.65 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.015 ^{ns}	0.0001 ^{ns}
Fu x A x Fo	4	0.0005 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	2.25 ^{ns}	5.36 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.0002 ^{ns}
Y 1	1	0.003 [*]	0.063 ^{ns}	0.0013 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	8.79 ^{ns}	28.8 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.0002 ^{ns}
Y 2	1	0.0004 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.000006 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	1.05 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	0.009 ^{ns}	0.00003 ^{ns}
Resíduo	42									
CV%		33.7	17.2	2.23	9.51	22.8	20.93	6.77	5.07	20.2

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ns * e ** não significativo e significativo a 5 e 1% pelo teste F; Y1 comparação de fosfíto com fungicida – água com baixa salinidade e Y2 comparação de fosfíto com fungicida – água com salinidade; Fu: *Fusarium* sp.; A: Água com condutividade 3,0 dS m⁻¹; Fo: fosfíto.

A salinidade da água (3,0 dS m⁻¹) promoveu alterações significativas nas variáveis fisiológicas associadas às trocas gasosas. Observou-se redução da condutância estomática (gs), acompanhada pelo aumento da resistência estomática (rs). Verificou-se, que houve queda na concentração interna de CO₂ (Ci), na assimilação líquida de carbono (A) e na taxa de transpiração (E). Por outro lado, a salinidade induziu aumento da eficiência instantânea no uso da água (EUA) e da eficiência instantânea de carboxilação (EiC), além de redução da razão Ci/Ca (Figura 6).

Figura 7 – Valores médios da Condutância estomática (G_s), Resistência estomática (R_s), Concentração interna de carbono (C_i), Relação carbono interno sobre carbono atmosférico (C_i/C_a), Transpiração (E), Assimilação de CO_2 (A), Eficiência instantânea do uso de água (EUA), Eficiência intrínseca do uso da água ($EiUA$) e Eficiência instantânea de carboxilação ($EiCi$) das plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 $dS\ m^{-1}$, inoculadas (I) e não inoculadas (NI) e tratadas com diferentes fontes de fosfíto.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferiram pelo teste de Tukey;

Na análise de variância (Tabela 4) para Peroxidase (POD) observa-se interação entre o *Fusarium* sp. e a condutividade da água e *Fusarium* sp. e fontes de fosfito de forma isolada. As variáveis produção de vagens mais sementes (V + S), produção de vagem (V) e produção de semente (S) apresentaram apenas efeito de forma isolada para a condutividade da água. A taxa de infecção (TI) apresentou efeito de modo isolado para a inoculação com *Fusarium* sp..

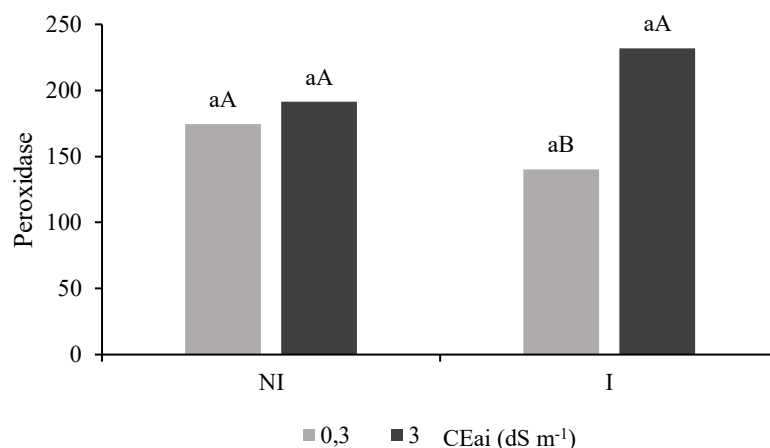
Tabela 6 – Resumo da análise de variância e contrastes para as variáveis Atividade da Peroxidase (POD), da Polifenoloxidase (PPO) e da Fenilalanina amônia-liase (PAL); Produção de vagens mais sementes (V + S), produção de Vagem (V) e produção de Semente (S) e Taxa de infecção (TI) em função da aplicação de fontes de fosfito em plantas de feijão-caupi para mitigar o estresse causado pela água de irrigação e inoculação com *Fusarium* sp.

FV	GL	PPO	PAL	POD	V+S	V	S	TI
Bloco	2	0.000003 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3852.4 ^{ns}	2.13 ^{ns}	0.012 [*]	0.008 ^{ns}	0.009 ^{ns}
Fusarium-Fu	1	0.001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	133.5 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.00009 ^{ns}	0.003 ^{ns}	9.879 ^{ns}
Água-A	1	0.0002 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	44358.5 ^{**}	75.7 ^{**}	0.21 ^{**}	0.62 ^{**}	0.503 ^{ns}
Fosfito-Fo	4	0.001 ^{ns}	0.002 ^{ns}	11749.45 ^{ns}	2.55 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.267 ^{ns}
Fu x A	1	0.00007 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	20982.4 [*]	0.48 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.503 ^{ns}
Fu x Fo	4	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	19420.24 ^{**}	0.74 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.267 ^{ns}
A x Fo	4	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	2075.4 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.041 ^{ns}
Fu x A x Fo	4	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	9098.00 ^{ns}	1.09 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.021 ^{ns}	0.041 ^{ns}
Y 1	1	0.002 ^{ns}	0.001 ^{ns}	3313.6 ^{ns}	1.43 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.005 ^{ns}	0.027 ^{ns}
Y 2	1	0.000009 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	25548.85 [*]	0.84 ^{ns}	0.0006 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1.343 ^{ns}
Resíduo	42							
CV%		20.5	22.4	35.964	26.83	19.2	20.8	88,02

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ns * e ** não significativo e significativo a 5 e 1% pelo teste F; Y1 comparação de fosfito com fungicida – água com baixa salinidade e Y2 comparação de fosfito com fungicida – água com salinidade; Fu: *Fusarium* sp.; A: Água com condutividade 3,0 dS m⁻¹; Fo: fosfito.

Para a atividade enzimática da peroxidase, as plantas não inoculadas e irrigadas com as diferentes condutividades (Figura 7) não diferiram entre si, enquanto as plantas inoculadas com *Fusarium* sp. e submetidas à irrigação 3,0 dS m⁻¹ apresentaram diferenças significativas. As plantas inoculadas e irrigadas com água salina apresentaram maior atividade enzimática da peroxidase. Essa enzima participa da defesa das plantas contra estresses bióticos e abióticos como os submetidos as plantas de feijão-caupi.

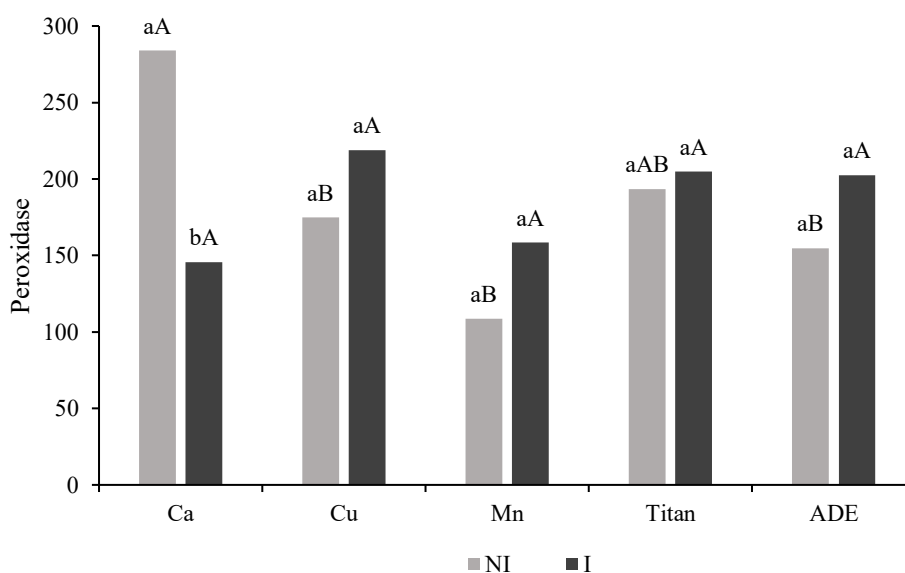
Figura 8 – Valores médios da atividade enzimática Peroxidase das plantas de feijão-caupi inoculadas (I) e não inoculadas (NI) submetidas a irrigação com 0,3 e 3,0 dS m⁻¹.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de cada condutividade elétrica não diferiram estatisticamente pelo teste de Tukey; médias seguidas das mesmas letras maiúsculas, em cada inoculação não diferiram pelo teste de Tukey.

As plantas não inoculadas e tratadas com fosfito de cálcio e Titanium® apresentaram maiores valores da atividade da peroxidase, enquanto as plantas inoculadas não evidenciaram diferenças na atividade dessa enzima. Em relação aos diferentes fosfitos, apenas as plantas submetidas ao tratamento com fosfito de cálcio, sem inoculação, apresentaram diferenças na atividade enzimática (Figura 8).

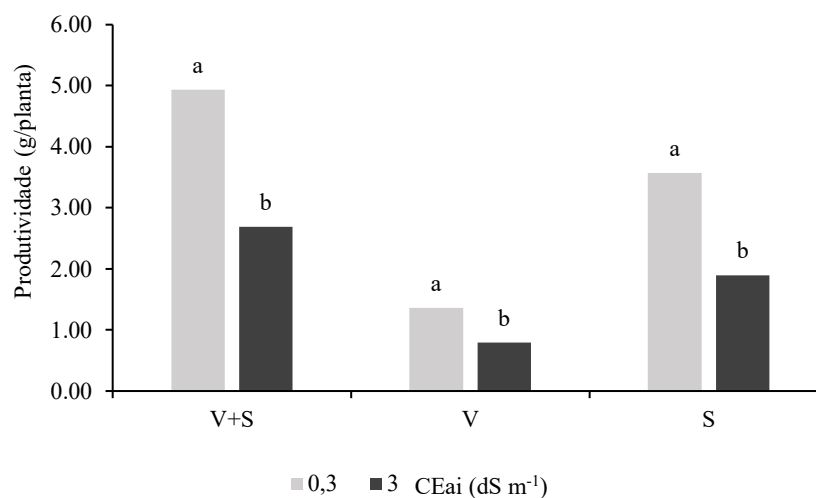
Figura 9 – Valores médios da atividade enzimática da Peroxidase das plantas de feijão-caupi inoculadas (I) e não inoculadas (NI) com *Fusarium* sp. e tratadas com diferentes fontes de fosfito.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Médias seguidas da mesma letra minúscula, dentro de cada fonte de fosfito não diferiram pelo teste de Tukey; médias seguidas das mesmas letras maiúsculas, em cada inoculação não diferiram pelo teste de Tukey.

A produtividade das plantas de feijão-caupi (Figura 9) foi afetada significativamente pela condutividade da água de irrigação (0,3 e 3,0 dS m⁻¹).

Figura 10 – Valores médios da produtividade de vagens mais sementes (V + S), produção de Vagem (V) e produção de Semente (S) de plantas de feijão-caupi submetidas a irrigação com condutividade 0,3 e 3,0 dS m⁻¹.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferiram pelo teste de Tukey;

As plantas irrigadas com água salina (3,0 dS m⁻¹) apresentaram menores valores de produtividade para vagens, sementes e a soma das vagens com as sementes. A salinidade afetou a eficiência da planta e que é refletida na produção.

3.4 DISCUSSÃO

As plantas que estão submetidas a estresses biótico e abiótico têm o conteúdo de clorofila, a fluorescência da clorofila *a*, a fotossíntese e o crescimento prejudicados. A salinidade é responsável por causar dois efeitos negativos na planta, o efeito primário causa redução no potencial hídrico, desidratação celular e citotoxicidade iônica e o efeito secundário causa redução da expansão celular/foliar, redução das atividades celulares e metabólicas, fechamento dos estômatos, inibição fotossintética, abscisão foliar, alteração na partição de

carbono, citorrise, cavitação, desestabilização de membranas e de proteínas, produção de EROs, citotoxicidade iônica e morte celular (Taiz et al., 2017).

Foi observado um aumento da condutividade elétrica da água drenada, proveniente da água de irrigação com condutividade elétrica $3,0 \text{ dS m}^{-1}$. De acordo com Oliveira et al. (2018) esse aumento se deve ao fato de a maior parte da água ser removida pela evapotranspiração e pela falta de drenagem suficiente para que ocorra a lixiviação dos sais que ficam acumulados no solo. Essas condições refletem a situação da maioria dos agricultores do seminário brasileiro e das dificuldades enfrentadas devido à falta de água adequada para irrigação que intensifica os efeitos deletérios.

As plantas submetidas a irrigação com água salina ($3,0 \text{ dS m}^{-1}$), apresentaram menor consumo de água devido ao estresse osmótico não específico, causado pela redução no potencial hídrico do solo gerados pelos sais da irrigação, constante com a água salina. Esse estresse inibe a planta de absorver água, mesmo a água estando disponível, causando um déficit hídrico para planta. Taiz et al., (2017) relataram que a planta para lidar com esse estresse hídrico desenvolve estratégias como a redução do crescimento do caule e a expansão foliar. No presente estudo, as plantas irrigadas com água salina apresentaram redução no número de folhas.

As plantas inoculadas com *Fusarium* sp. apresentaram redução nos teores de clorofila Falker *a* e nos teores de clorofila Falker total. Esse fato está relacionado aos danos causados pela colonização do patógeno no aparato fotossintético da planta. O *Fusarium* spp. é um patógeno transmitido pelo solo, que penetra na raiz, cresce através das células corticais e segue para colonizar os vasos do xilema, onde é transportado para o resto da planta, levando ao colapso do sistema vascular, causando a murcha, e posteriormente morte da planta, devido ao acúmulo de micélio e toxinas fúngicas (Garcés-Fiallos et al., 2022). Os sintomas da murcha de *Fusarium* são clorose foliar, desfolha, mudança na coloração do tecido vascular, murcha e morte da planta. Essa clorose também é observada em plantas submetidas a estresse por salinidade. Oliveira et al. (2018) afirmam que a degradação da clorofila sob estresse salino está geralmente relacionada ao aumento da atividade da enzima clorofilase, que aumenta sua atividade para remover pigmentos danificados e evitar acúmulo de derivados fototóxicos.

Saddiq et al. (2021) observaram que o estresse salino limitou a absorção de energia nos centros de reação da luz, provavelmente devido ao acúmulo excessivo de íons específicos, resultando em um desequilíbrio na atividade metabólica da planta, levando à formação de espécies reativas de oxigênio, que por sua vez limitam a atividade energética dos pigmentos fotossintéticos. A explosão de ROS destrói as membranas dos tilacóides, resultando em modulações nos perfis de proteínas da membrana, o que leva à diminuição da atividade do

complexo de evolução de oxigênio (OEC) do PS II e aumenta o funcionamento do PS I, resultando em valores reduzidos da relação entre processos fotoquímicos e processos não fotoquímicos (F_v/F_0) e a Eficiência quântica do fotossistema II, que foi observado nesse estudo, onde esses parâmetros foram reduzidos nas plantas submetidas a irrigação com água com condutividade elétrica 3,0 (dS m^{-1}). Fluorescência da clorofila e as trocas gasosas são indicadores fisiológicos da saúde da planta que facilita o entendimento sobre a resistência da planta; assim, teores baixos representam danos no aparato fotossintético.

O efeito da salinidade também pode induzir o fechamento dos estômatos e reduções na transpiração e na taxa de assimilação de CO_2 , além de causar degradação de pigmentos e peroxidação lipídica das membranas (Ramos et al., 2022). Nesse estudo a condutância estomática apresentou valores inferiores nas plantas irrigadas com água salina (3,0 dS m^{-1}), reflexo dos danos causados pela salinidade. Saddiq et al. (2021) relatam a diminuição da condutividade estomática e da assimilação de CO_2 com diferentes espécies de trigo. Os autores afirmam que essas reduções geram ROS nas folhas da planta e que essas ROS são consideradas a principal fonte de danos estruturais sob estresses salino e que estas moléculas são altamente citotóxicas.

As plantas inoculadas com *Fusarium* sp. e submetidas a água de irrigação apresentaram maiores valores da atividade enzimática da peroxidase (Figura 7). Observou-se aumento na atividade da peroxidase nas plantas inoculadas com *Fusarium* sp., submetidas a água de irrigação com 3,0 dS m^{-1} e tratadas com as fontes de fosfóforo de cálcio, manganês e Titanium®. Foi demonstrado que as peroxidases vegetais desempenham um papel essencial na reação de resistência a doenças em feijões comuns e outras plantas por meio da geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) em resposta à infecção por patógenos fúngicos, demonstrado que as espécies de ROS ativam a produção de uma explosão oxidativa, envolvidos na defesa da planta (Xue et al., 2017).

A colonização dos vasos do xilema pelo *Fusarium* sp. podem ser impedidos pelo fortalecimento da parede celular por meio da deposição de lignina e outros compostos fenólicos, que atuam diretamente como mecanismos de defesa da planta. Esse fortalecimento da parede celular está intimamente ligado a indução da enzima peroxidase. Sendo este um dos principais mecanismos de defesa intravascular da planta a patógenos (Garcés-Fiallos et al., 2022).

Plantas submetidas a estresse salino tem sua produção afetada devido à falta de fotoassimilados necessários para suprir as demandas da planta. Nesse estudo as plantas irrigadas com água salina apresentaram decréscimo na produtividade. Essa redução pode estar relacionada ao excesso de sais, que inibe a expansão foliar, causando redução no turgor foliar,

consequentemente, reduzindo a assimilação líquida de carbono e afetando negativamente a produtividade da cultura (Lima et al., 2022). Bashandy e El-Shaieny (2016) observaram que o número de vagens por planta de feijão-caupi diminui com o aumento da salinidade da água de irrigação. Segundo os autores, essa redução pode ser devida ao alto acúmulo de sais no nível celular, o que consequentemente afeta processos bioquímicos nas plantas, como a fotossíntese e a translocação de assimilados para a regeneração de órgãos. Borborema et al. (2025a) observaram em feijão-caupi sob irrigação com água, com condutividade elétrica $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ inibição da síntese de pigmentos fotossintéticos, da fluorescência da clorofila *a* e da produção de grãos de plantas. Plantas expostas a estresse abiótico por períodos prolongados tornam-se mais suscetíveis ao ataque de patógenos.

3.5 CONCLUSÃO

A água de irrigação com condutividade $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ reduziram a atividade da clorofila, a fluorescência da clorofila, as trocas gasosas e a produtividade.

As plantas inoculadas com *Fusarium* sp. reduziram os teores de clorofila *a* e clorofila total.

As plantas inoculadas com *Fusarium* sp. e submetidas a água de irrigação com condutividade $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ apresentaram maior atividade da enzima peroxidase.

As plantas inoculadas e tratadas com as fontes de fosfite de cálcio, manganês e Titanium® apresentaram maior atividade da enzima peroxidase.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, B. R. D.; SILVA, M. L. R. B.; OLIVEIRA, L. G.; ROSA, R. C. T.; GURGEL, L. M. S.; PAULA OLIVEIRA, J. Ação antagônica à *Macrophomina phaseolina* e *Fusarium oxysporum* e diversidade genética de bactérias obtidas de solo cultivado com *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 26, n. 2, 2021.
- BASHANDY, T.; EL-SHAHENY, A. A. Screening of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes for salinity tolerance using field evaluation molecular analysis. **Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology**, v. 7, p. 249–255, 2016.
- BORBOREMA, L. D.; SILVA, A. A. D.; LIMA, G. S. D.; GHEYI, H. R.; ARRUDA, T. F. D. L.; NUNES, K. G.; SOUSA, V. D. D. Physiology and production components of cowpea under salt stress and chitosan application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 4, p. e287913, 2025.
- BORBOREMA, L. D. A.; SILVA, A. A. R.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; SOUZA, W. B. B.; MENDONÇA, A. J. T.; SANTOS, L. F.S.; NASCIMENTO, F. S. Morfofisiologia de feijão-caupi sob estresse salino e aplicação de quitosana em área semiárida. **Water Resources and Irrigation Management – WRIM**, Cruz das Almas, BA, v. 14, n. 1-3, p. 30–47, 2025a.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of micrograms quantities for proteins utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, 72: 248-254, 1976.
- CAVALCANTI, F. J. de A. (Coord.). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3. ed. rev. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008. 212p.
- DEMARTELAERE, A. C. F.; SILVA, A. A. D.; LIMA, G. S. D.; GHEYI, H. R.; ARRUDA, T. F. D. L.; NUNES, K. G.; SOUSA, V. D. D. Controle biológico da murcha de fusarium no feijão caupi. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4798–4818, 2021.
- DUANGMAL, K.; APENTEN, R. K. O. A comparative study of polyphenol oxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). *Food Chemistry*, London, v.64, p.351-359, 1999.
- FAGUNDES-NACARATH, I. R. F.; DEBONA, D.; OLIVEIRA, A. T. H.; HAWERROTH, C.; RODRIGUES, F. A. Biochemical responses of common bean to white mold potentiated by phosphites. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 132, p. 308–319, 2018.
- FROTA, K. M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G.. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 470-476, 2008.
- GARCÉS-FIALLOS, F. R.; QUADROS, F. M.; FERREIRA, C.; BORBA, M. C.; BOUZON, Z. L.; BARCELOS-OLIVEIRA, J. L.; STADNIK, M. J. Changes in xylem morphology and activity of defense-related enzymes are associated with bean resistance during *Fusarium oxysporum* colonization. **Protoplasma**, v. 259, p. 717–729, 2022.

- JAYAWARDHANE, J.; GOYALI, J. C.; ZAFARI, S.; IGAMBERDIEV, A. U. The response of cowpea (*Vigna unguiculata*) plants to three abiotic stresses applied with increasing intensity: hypoxia, salinity, and water deficit. **Metabolites**, v. 12, n. 1, p. 38, 2022.
- LI, Z.; KONG, X.; ZHANG, Z.; TANG, F.; WANG, M.; ZHAO, Y.; SHI, F. The functional mechanisms of phosphite and its applications in crop plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1538596, 2025.
- LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SOUSA, P. F. N.; FERNANDES, P. D. Saline water irrigation strategies and potassium fertilization on physiology and fruit production of yellow passion fruit. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 180–189, 2022.
- LIU, Z.; XU, N.; PANG, Q.; KHAN, R. A. A.; XU, Q.; WU, C.; LIU, T. A salt-tolerant strain of *Trichoderma longibrachiatum* HL167 is effective in alleviating salt stress, promoting plant growth, and managing Fusarium wilt disease in cowpea. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 3, p. 304, 2023.
- MENEZES, M. **Fungos fitopatogênicos**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 1993.
- MOHAMMADI, M. A.; CHENG, Y.; ASLAM, M.; JAKADA, B. H.; WAI, M. H.; YE, K.; HE, X.; LUO, T.; YE, L.; DONG, C.; HU, B.; PRIYADARSHANI, S. V. G. N.; WANG-PRUSKI, Gefu; QIN, Y. ROS and oxidative response systems in plants under biotic and abiotic stresses: revisiting the crucial role of phosphite triggered plants defense response. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 631318, 2021.
- OLIVEIRA, L. G.; KETTNER, M. G.; LIMA, M. L. S.; ARAÚJO, E. R.; SILVA, A. R.; COSTA, A. F. Potencial de biocontrole *Trichoderma* spp. contra *Macrophomina phaseolina* de feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 26, n. 2, p. e2512262021, 2021.
- OLIVEIRA, W. J.; SOUZA, E. R.; SANTOS, H. R. B.; SILVA, E. F. F. E.; DUARTE, H. H. F.; MELO, D. V. M. Fluorescência da clorofila como indicador de estresse salino em feijão caupi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 2592–2603, 2018.
- RAMOS, J. G.; LIMA, V. L. A.; LIMA, G. S.; PEREIRA, M. O.; SILVA, A. A. R.; NUNES, K. G. Growth and quality of passion fruit seedlings under salt stress and foliar application of H₂O₂. **Comunicata Scientiae**, v. 13, p. e3393, 2022.
- RONCATO, M. C.; PASCHOLATI, S. F. Alterações na atividade e no perfil eletroforético da peroxidase em folhas de milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) tratadas com leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.55, n.3, p.395-402, 1998.
- SADDIQ, M. S.; IQBAL, S.; HAFEEZ, M. B.; IBRAHIM, A. M. H.; RAZA, A.; FATIMA, E. M.; BALOCH, H.; JAHANZAIB; WOODROW, P.; CIARMIELLO, L. F. Effect of salinity stress on physiological changes in winter and spring wheat. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1193, 2021.

SEIFERT, K.; MORGAN-JONES, G.; GAMS, W.; KENDRICK, B. **The genera of Hyphomycetes**. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, 2011.

SOBRINHO, C. A.; PAZ FILHO, E. R.; DIAS, L. R. C.; SANTOS, A. R. B.; SILVA, P. H. S.; NICOLINI, C.; SILVA, L. M. A. Perfil sanitário e tratamento de sementes de feijão-caupi com óleo essencial de *Lippia lasiocalycina* Cham. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, p. e19212240182, 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p. ISBN 978-85-8271-367-9.

TEIXEIRA, H.; MACHADO J. C. Transmissibilidade e efeito de *Acremonium strictum* em sementes de milho. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 27, n. 5, p.1045-1052, 2003.

UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica**, Best Dagan, v.34,n.1, p.68-71, 2006.

XUE, R.; WU, X.; WANG, Y.; ZHUANG, Y.; CHEN, J.; WU, J.; BLAIR, M. W. Hairy root transgene expression analysis of a secretory peroxidase (PvPOX1) from common bean infected by **Fusarium wilt**. **Plant Science**, v. 260, p. 1–7, 2017.

**4 Capítulo IV – INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA A ANTRACNOSE EM FEIJÃO-CAUPI
COM PRODUTOS À BASE DE FOSFITO**

COSTA, M. M. L. **Indução de resistência a antracnose em feijão-caupi com produtos à base de fosfito**. Universidade Federal da Paraíba (Doutorado em Agronomia). Areia, PB. 2025.

RESUMO

O feijão-caupi é uma das principais culturas produzidas na agricultura familiar, servindo como fonte de alimento e renda para os pequenos produtores. A cultura sofre com a falta de manejo adequado para redução de doenças que causam danos a produtividade. Visando reduzir a severidade das doenças, incluindo a antracnose, causada por *Colletotrichum* spp., os fosfitos surgem como uma alternativa promissora ao uso de agrotóxicos, de forma eficiente e limpa. Dessa forma, o presente estudo objetivou avaliar o efeito de diferentes fontes de fosfito na indução de resistência à antracnose em feijão-caupi. As fontes de fosfito utilizadas foram o fosfito de cobre, fosfito de magnésio, o fosfito de cálcio, fosfito de manganês, Ranger® (fosfito de potássio) e Titanium® (fosfito de cobre, manganês e zinco), uma testemunha e um tratamento adicional com fungicida (Amistar® 0,012g m² e Thiobel® – 0,071 g m²). Os tratamentos foram aplicados via foliar, sendo quatro aplicações distribuídas a cada sete dias, iniciando 21 dias após semeio. Foram avaliadas na fase de floração, a fluorescência da clorofila *a*, com as variáveis fluorescência inicial, fluorescência média, fluorescência variável, eficiência quântica do fotossistema II e relação processos fotoquímicos e não fotoquímicos; trocas gasosas, com as seguintes variáveis: temperatura foliar (TF) (°C), condutância estomática (Gs) (mol m⁻² s⁻¹), resistência estomática (Rs), transpiração (E) (mmol H₂O m⁻² s⁻¹), assimilação líquida de CO₂ (A) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), concentração de CO₂ nos espaços intercelulares (Ci) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), eficiência no uso da água (EUA=A/E), eficiência intrínseca no uso da água (EiUA=A/gs) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC=A/Ci). Foram retiradas folhas do terço médio da planta para a quantificação da atividade enzimática, da peroxidase (POD), polifenoloxidase (PPO) e fenilalanina amônia-liase (PAL). As avaliações da severidade da antracnose ocorreram após o surgimento dos primeiros sintomas, sendo realizadas a cada sete dias, durante cinco semanas. E no final do ciclo foi quantificado a produtividade de vagem, grãos e total. Os fosfitos Ranger® e magnésio apresentaram maiores valores de produtividade nas duas safras. A relação clorofila a/b apresentou maiores valores quando tratadas com fosfito de cálcio e cobre. Para as trocas gasosas, os fosfitos de cobre, Ranger®, magnésio manganês e Titanium® influenciaram positivamente a condutância estomática e a resistência estomática permitindo maior troca gasosa. A transpiração foi maior nas plantas tratadas com Ranger®, fosfito de magnésio e Titanium®; Todos as fontes de fosfito apresentaram potencial de controle da antracnose. A maior atividade da POD foi observada nas plantas tratadas com os fosfitos de cobre, Ranger® e fosfito de manganês, ativando as defesas da planta.

Palavras-chave: atividade enzimática; *Colletotrichum* spp.; manejo; *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

COSTA, M. M. L. **Induction of Resistance to Anthracnose in Cowpea Using Phosphite-Based Products.** Federal University of Paraíba (Doctorate in Agronomy). Areia, PB. 2025.

ABSTRACT

Cowpea is one of the main crops produced in family farming, serving as a source of food and income for small producers. The crop suffers from a lack of proper management to reduce diseases that damage productivity. Aiming to reduce the severity of diseases, including anthracnose caused by *Colletotrichum* spp., phosphites emerge as a promising alternative to the use of pesticides, in an efficient and clean way. Thus, the present study aimed to evaluate the effect of different phosphite sources on inducing anthracnose resistance in cowpea. The phosphite sources used were copper phosphite, magnesium phosphite, calcium phosphite, manganese phosphite, Ranger® (potassium phosphite) and Titanium® (copper, manganese and zinc phosphite), a control and an additional fungicide treatment (Amistar® 0.012 g m⁻² and Thiobel® – 0.071 g m⁻²). The treatments were applied via foliar spray, with four applications distributed every seven days, starting 21 days after sowing. During the flowering phase, the following variables were evaluated: chlorophyll a fluorescence, with the variables initial fluorescence, average fluorescence, variable fluorescence, quantum efficiency of photosystem II, and the relationship between photochemical and non-photochemical processes; gas exchange, with the following variables: leaf temperature (TF) (°C), stomatal conductance (Gs) (mol m⁻² s⁻¹), stomatal resistance (Rs), transpiration (E) (mmol H₂O m⁻² s⁻¹), net CO₂ assimilation (A) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), CO₂ concentration in intercellular spaces (Ci) (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), water use efficiency (WUE=A/E), intrinsic water use efficiency (EiWUE=A/Gs), and instantaneous carboxylation efficiency (EiC=A/Ci). Leaves were removed from the middle third of the plant for quantification of enzymatic activity, specifically peroxidase (POD), polyphenol oxidase (PPO), and phenylalanine ammonia-lyase (PAL). Anthracnose severity assessments were conducted after the appearance of the first symptoms, every seven days for five weeks. At the end of the cycle, pod, grain, and total yield were quantified. Ranger® and magnesium phosphites showed higher productivity values in both growing seasons. The chlorophyll *a/b* ratio showed higher values when treated with calcium and copper phosphite. For gas exchange, copper phosphite, Ranger®, magnesium manganese phosphite, and Titanium® positively influenced stomatal conductance and stomatal resistance, allowing for greater gas exchange. Transpiration was higher in plants treated with Ranger®, magnesium phosphite, and Titanium®; all phosphite sources showed potential for anthracnose control. The highest POD activity was observed in plants treated with copper phosphite, Ranger®, and manganese phosphite, activating the plant's defenses.

Keywords: enzymatic activity; *Colletotrichum* spp.; management; *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

4.1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão de corda ou feijão macassar, é uma leguminosa bastante cultivada em todas as regiões do país e principalmente na região Nordeste do Brasil (Demartelaere et al., 2021). É uma planta herbácea, de ciclo curto, que apresenta ótimo desenvolvimento em temperaturas em torno de 28 °C (Pinto et al., 2021). Produzida em todas as regiões do Brasil, na safra 2024/2025 relata-se uma área plantada com feijão no Brasil de 2861,6 mil hectares, produzindo 1157 kg/ha e uma produção total de 3312,7 mil toneladas. A área plantada no estado da Paraíba permaneceu 74,8 mil ha, como na safra 23/24, produzindo 362 kg/ha e uma produção total de 27,1 mil toneladas na safra 24/25 de feijão-caupi (CONAB, 2025).

O feijão-caupi é uma das principais alternativas sociais e econômicas de suprimento alimentar, por seu alto valor nutritivo que contribui com a melhoria da qualidade de vida da população, e geração de emprego devido a seu baixo custo de produção e fácil acesso, tornando a cultura uma fonte geradora de renda (Barros et al., 2021). Existe pouca ou nenhuma tecnologia empregada no cultivo do feijão-caupi, o que facilita a produção pelos pequenos produtores de agricultura familiar. Interligada a esse fato está a capacidade da cultura de tolerar condições de déficit hídrico, solos salinos e altas temperaturas (Pinto et al., 2021).

Apesar da sua fácil adaptabilidade, os fatores climáticos e as doenças são os principais fatores da baixa produtividade, aliadas a falta de manejo adequado, o uso de sementes provenientes de outras safras, de troca ou doação por vizinhos, comum entre os pequenos produtores, facilitando a disseminação de doenças (Sobrinho et al., 2023).

Os fungos fitopatogênicos quando colonizam o feijão-caupi ocasionam danos severos a cultura, prejudicando diversas partes da planta, causando danos graves que comprometem a produtividade do grão. Dentre as doenças que acometem essa cultura, destacam-se o mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*), a mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*), a murcha de fusarium (*Fusarium* spp.) (De Oliveira Nascimento et al., 2025) e antracnose (*Colletotrichum* spp.), podendo causar perdas de até 100% quando a cultivar é suscetível e o clima é favorável aos agentes causais (Siqueira et al., 2019).

O método de controle de doenças mais utilizado pelos produtores é o químico, por ser de fácil acesso para aquisição e uso, contudo prejudica o meio ambiente, a saúde e leva resistência do patógeno ao produto. Deste modo, é extremamente importante o desenvolvimento de estratégias eficientes e ambientalmente seguras para o controle de doenças no feijão-caupi (Andrade et al., 2021).

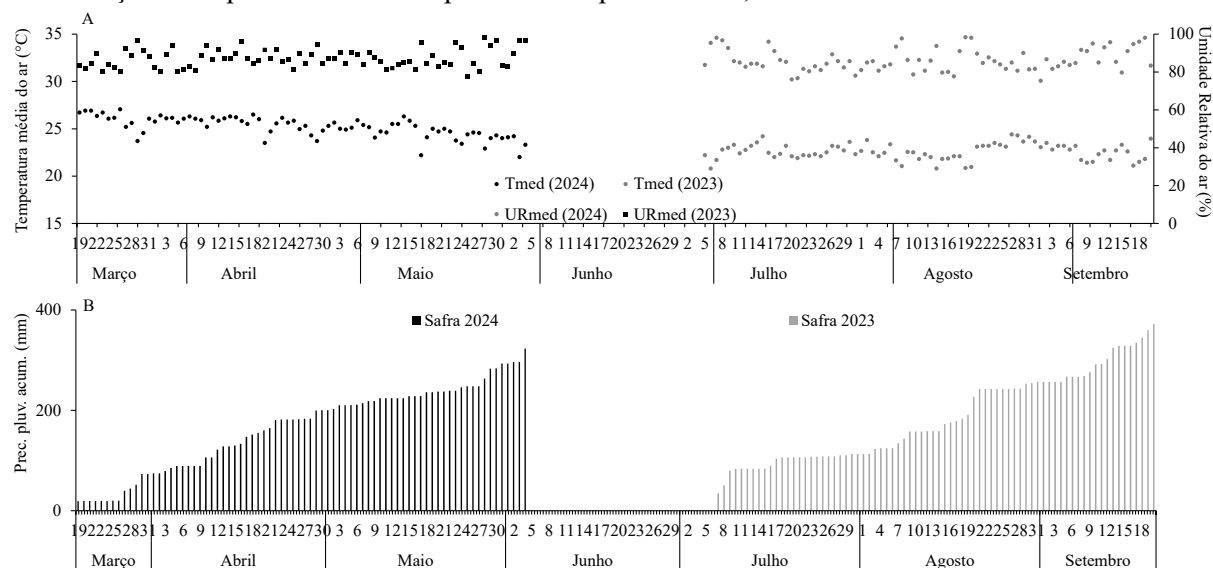
Nas últimas décadas a busca por produção de alimentos de maneira ecológica, sustentável e economicamente viável vem aumentando (Oliveira et al., 2024). Dentre as diversas alternativas eficientes de controle de patógenos, o uso de fontes de fosfito, se destaca como fertilizante foliar e no manejo de doenças, com eficácia comprovada contra protozoários, oomicetos, fungos, bactérias e nematoides (Morales-Morales et al., 2022). Os fosfitos atuam de forma direta e indireta no controle de fitopatógenos, a primeira forma afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento do organismo fitopatogênico e a segunda forma está relacionada ao aumento da resistência induzida das plantas (Santos et al., 2018).

Diante da importância da produção de feijão-caupi para a população brasileira, o presente estudo teve por objetivo avaliar a eficiência de fontes de fosfito na redução da severidade da antracnose, bem como sua interferência nas características fisiológicas e bioquímicas de plantas de feijão-caupi.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na fazenda Chã-de-Jardim (6° 58' 12" de Latitude Sul, 35° 42' 15" de Longitude a Oeste de Greenwich e, 575 m altitude), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias (CCA), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), localizada no município de Areia, Estado da Paraíba (PB), Brasil. Foram conduzido em dois ciclos, sendo o primeiro implantado em 05 julho de 2023 e o segundo de 19 de março de 2024. O clima da região, segunda a classificação de Köppen's, é do tipo As (clima tropical com verão seco) (Alvares et al., 2013) e durante os cultivos os dados meteorológicos foram obtidos na Estação Meteorológica da UFPB/CCA, Campus II, Areia – PB (Figura 1).

Figura 1 – Valores de Precipitação, temperatura média e umidade relativa do ar registrados nos meses de condução do experimento em campo no município de Areia, Paraíba.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025.

Os tratamentos foram compostos pela aplicação das fontes de fosfito de cobre ($82,6 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$) – $0,20 \text{ ml m}^{-2}$, de magnésio ($386,4 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$) – $0,20 \text{ ml m}^{-2}$, de cálcio ($270,0 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$) – $0,25 \text{ ml m}^{-2}$, de manganês ($444,0 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$) – $0,13 \text{ ml m}^{-2}$, Ranger® ($420,0 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$) – $0,20 \text{ ml m}^{-2}$, e Titanium® ($72,0 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$) – $0,04 \text{ ml m}^{-2}$, Quimifol® da Fênix Agro, aplicação dos fungicidas (Amistar® – $0,012 \text{ g m}^2$ e Thiobel® – $0,071 \text{ g m}^2$) e de água destilada (testemunha), totalizando oito tratamentos. As fontes de fosfito e os fungicidas foram aplicados de acordo com as recomendações do fabricante. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, e a parcela experimental constituída por 7 linhas de 4,5 metros, com espaçamento de 1 m entre linhas e 0,5 m entre covas na linha ($31,5 \text{ m}^2$), sendo, a área útil, duas linhas centrais, excluindo as extremidades.

O experimento foi cultivado em um Latossolo Vermelho-Amarelo, caracterizado de acordo com seus atributos químicos (fertilidade) e físicos, a partir de uma amostra composta, coletada aleatoriamente, na camada de 0–20 cm de profundidade do perfil (Tabela 1). As análises foram realizadas no Laboratório de Solos, do Departamento de Solos e Engenharia Rural, CCA/UFPB, segundo Teixeira et al (2017).

Tabela 1 – Atributos químicos (fertilidade) e físicos do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no plantio de feijão-caupi – Areia-PB

Atributos Química (Fertilidade) ¹											
pH H ₂ O (1:2,5)	P --- mg dm ⁻³ ---	K ⁺ -----	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V %	MO g kg ⁻¹
5,7	1,54	30,45	0,06	7,76	0,15	3,36	1,81	5,31	13,07	40,6	58,43
Atributos Físicos ²											
Areia 2 – 0,5 mm	Silte 0,05 – 0,002 mm	Argila <0,002 mm	Argila dispersa	Grau de floculação	Densidade do solo	Densidade de partículas	Porosidade total				
----- g kg ⁻¹ -----			- g kg ⁻¹ -	- g kg ⁻¹ -	- g cm ⁻³ -	- g cm ⁻³ -	- m ³ m ⁻³ -				
496	135	369	41	855	1,08	2,54	0,57				

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ¹pH (potencial hidrogeniônico) em água; P (fósforo), K⁺ (potássio) e Na²⁺ (sódio) com extrator Mehlich 1; Ca²⁺ (cálcio), Mg²⁺ (magnésio) e Al³⁺ (alumínio) com extrator KCl 1 M; H⁺ + Al³⁺ (hidrogênio mais alumínio) com extrator acetato de cálcio 0,5 M a pH 7,0; SB (soma de bases) = K⁺ + Na⁺ + Ca²⁺ + Mg²⁺; CTC (capacidade de troca de cátions) = SB + H⁺ + Al³⁺; V (saturação por bases) = (SB/CTC) x 100; PST (percentagem de sódio trocável) = (Na⁺/CTC) x 100; MO (matéria orgânica) = carbono orgânico x 1,724, método Walkley-Black; ²Granulometria pelo método do densímetro, dispersante NaOH 1 M; Ad (argila dispersa em água); Gf (grau de floculação) = ((argila total - Ad)/argila total) x 100; Ds (densidade do solo); Dp (densidade de partícula); PT (porosidade total) = (Dp - Ds)/Dp.

Com base na análise de solo e recomendações de Cavalcanti (2008) realizou-se a correção e a adubação do solo. Para a calagem se aplicou calcário dolomítico (417 kg ha⁻¹, informar PRNT) incorporado no solo com uma gradagem. Nas adubações foram 29,35 g por linha de ureia, 142 g por linha de superfosfato simples e 29,9 g por linha de cloreto de potássio, sendo a adubação em plantio de P e K e uma de cobertura de N. Estas foram realizadas após a delimitação da área e as marcações dos blocos e das covas.

As sementes de feijão-caupi cultivar Barba Guiné, foram obtidas com produtores do assentamento Queimadas (Latitude Sul: 6° 53' 30", Longitude a Oeste de Greenwich: 35° 49' 51"), município de Remígio, PB. As sementes foram selecionadas, através da observação visual, descartando as malformadas e/ou sob ataque de pragas. Foram semeadas manualmente 5 sementes por cova e, após emergência, foi realizado o desbaste deixando apenas duas plantas por cova, com população de 40.000 plantas por hectare. O controle das plantas daninhas foi realizado com capinas manuais e, para controle de insetos-praga foi realizado monitoramento e aplicação de inseticida recomendado.

4.2.1 Produtividade de feijão caupi tratado com produtos à base de fosfito

A colheita das vagens na área útil da parcela foi realizada quando elas estavam secas, obtendo-se a massa seca das vagens mais grãos, e das vagens e dos grãos separadamente, em balança de precisão, com os resultados expressos em kg ha⁻¹. Também se determinou a umidade

dos grãos, que foi determinada pelo método da estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas de acordo com Brasil (2009), para corrigir a produtividade de grãos para 12%.

4.2.2 Avaliações fisiológicas

Quando as plantas apresentavam estágio de floração foram analisadas as variáveis fisiológicas: fluorescência inicial (F_0), máxima (F_m) e variável ($F_v = F_m - F_0$) da clorofila 'a', relação entre processos fotoquímicos e não fotoquímicos (F_v/F_0) e rendimento quântico do fotossistema II (F_v/F_m), utilizando o fluorômetro (Sciences Inc.- Model OS-30p, Hudson, USA) após adaptação das folhas ao escuro. Índices foliares de clorofila "a", "b" e "total", com clorofilômetro portátil (ClorofiLOG®, modelo CFL 1030), com leitura realizadas no período das 08h00 às 12h00. Trocas gasosas com analisador de gás no infravermelho - IRGA (modelo LI-6400XT, LI-COR®, Nebraska, USA) utilizando fluxo de ar de $300 \mu\text{mol s}^{-1}$ e fonte de luz acoplada de $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo as medições aferidas no período entre as 8h00 e 12h00 da manhã. Foram avaliadas a assimilação líquida de CO_2 ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática ($g_s - \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração de CO_2 nos espaços intercelulares ($C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{ar}$), transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência no uso da água ($\text{EUA} - \mu\text{mol CO}_2 \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$), eficiência intrínseca no uso da água ($\text{EiUA} = A/g_s$), eficiência instantânea de carboxilação ($\text{EiC} = A/C_i$) e temperatura foliar ($\text{TF} - ^\circ\text{C}$).

4.2.3 Severidade da doença

As avaliações da severidade com base na incidência natural, foram realizadas quando surgiram os primeiros sintomas da doença, sendo realizadas semanalmente, tomando como base duas folhas da região basal, mediana e apical, as quais foram atribuídas notas, conforme a escala diagramática de Dalla Pria (2003). A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) foi determinada por meio das notas da severidade, conforme fórmula descrita por Shaner e Finney (1977), onde:

$$\text{AACPD} = \sum [(y_i + y_{i+1})/2] * [(t_{i+1} - t_i)]$$

Em que:

y_i e y_{i+1} são as porcentagens da área lesionada observada durante as avaliações, e

$t_{i+1} - t_i$ são intervalos de tempo entre as avaliações.

A proteção de cada tratamento foi calculada por meio da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença, onde

$$\% \text{ Proteção} = (\text{AACPD tratamento} \times 100 / \text{AACPD testemunha})$$

Para a determinação do Índice de Doença (%) foi utilizado os dados da severidade e calculado pela fórmula proposta por McKinney (1923), $ID (\%) = (n \times v) / (N \times V) \times 100$

4.2.4 Determinação da atividade enzimática de plantas de feijão-caupi tratadas com fontes de fosfite

No estágio de floração da cultura, no início da manhã, duas folhas do terço médio da planta foram coletadas para a determinação da atividade enzimática das enzimas peroxidase (POX), polifenoloxidase (PPO) e fenilalanina amônia-liase (FAL). As amostras previamente identificadas, foram armazenadas em freezer para posterior utilização. Amostras 1,0 g de folhas correspondendo a cada tratamento foram maceradas em almofariz com nitrogênio líquido e 10 mL de acetato de sódio até a obtenção de uma massa homogênea. Os extratos foram centrifugados por 15 minutos a 12000 rpm a - 4 °C, ao final o sobrenadante foi transferido para microtubos.

Para a determinação das proteínas totais foi utilizado o método proposto por Bradford (1976), no qual foi adicionado em cubetas de quartzo 1000 µL da solução de Bradford a 100 µL da amostra, após 15 minutos em temperatura ambiente. Procedeu-se a leitura da amostra na absorbância de 595 nm em espectrofotômetro (GENESYSTM 10S UV VIS).

4.2.4.1 Atividade da Peroxidase (POD)

A atividade da enzima peroxidase (POD) foi determinada por meio da reação de conversão do guaiacol em tetraguaiacol, através da guaiacol peroxidase, adaptada de (Roncato; Pascholati, 1998) pela adição de 0,25 mL de extrato enzimático ao meio de reação contendo 0,25 mL de guaiacol (1,7%), 0,75 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,0) e 0,25 mL de H₂O₂ (1,8%), totalizando um volume de 1,5 mL. O Branco foi composto do meio de reação, exceto o extrato enzimático que foi substituído por ADE. A obtenção da atividade enzimática foi expressa em espectrofotômetro, pela variação da absorbância, no comprimento de onda de 470 nm, a 25 °C e expressa em Unidades de Absorbância (UA). Min⁻¹. Mg⁻¹ de proteína.

4.2.4.2 Atividade da Polifenoloxidase (PPO)

A polifenoloxidase (PPO) foi obtida pela conversão de catecol em quinona, por meio da adição de 0,25 mL de extrato enzimático ao meio de reação contendo 0,25 mL de 4-metilcatecol (60 mM), 0,75 mL de tampão fosfato 0,1 M (pH 6,8) e 0,25 mL de ADE. O Branco foi composto do meio de reação, exceto o extrato enzimático que foi substituído por ADE. As amostras foram incubadas em tubos de ensaio por 15 minutos em banho maria na temperatura de 40 °C. Após este período foi adicionada 0,8 mL de ácido perclórico (2,0 M) para a paralisação da atividade. Na sequência, procedeu-se com a determinação da atividade enzimática expressa em espectrofotômetro no comprimento de onda de 395 nm, a 25 °C e expressa em Unidades de Absorbância (UA). $\text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ de proteína (Duangmal; Apenten, 1999).

4.2.4.3 Atividade da Fenilalanina amônia-liase (PAL)

A atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) foi determinada adicionando-se 0,25 mL do extrato enzimático em tubos de ensaio com a adição de 1,5 mL da solução de tampão TRIS 0,01 M (pH 8,8) e 1,25 mL de ADE. Como referência foi realizada a primeira leitura com o “Branco”, que foi composto por 1,5 mL da solução tampão Tris-HCl 0,01 M, 0,5 mL de solução de fenilalanina e 1 mL de ADE. Os tubos contendo as amostras foram incubadas em banho-maria a 40 °C, durante 60 minutos. Em seguida as amostras foram paralisadas com a adição de 0,1 mL de ácido clorídrico a 5,0 M. A leitura foi realizada em cubeta de quartzo no espectrofotômetro pela variação da absorbância, no comprimento de onda de 290 nm, a 25 °C e os resultados foram expressos em Unidades de Absorbância (UA). $\text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ de proteína (Umesha, 2006).

4.2.5 Análise estatística

Os dados foram inicialmente avaliados quanto à normalidade (Anderson-Darling) e homogeneidade das variâncias (Bartlett e Levene), considerando até 5% de probabilidade. Também se verificou a homogeneidade residual entre os anos de cultivo pelo teste de F-Hartley ($p \leq 0,05$), após análise de variância de cada safra e, quando homogênea procedeu-se análise conjunta. Realizou-se a análise de variâncias (teste F, $p \leq 0,05$) com as médias das safras comparadas pelo teste F ($p \leq 0,05$) e dos tratamentos (fosfitos, testemunha e fungicida) pelo

teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) para cada ano de cultivo. As análises foram realizadas através do software SAS® On Demand for Academics.

4.3 RESULTADOS

Na produtividade total observou-se interação entre os tratamentos e as safras ($F = 3,91$; $p = 0,0026$). A produtividade na safra de 2024 foi maior, para todos os tratamentos, em relação à safra de 2023 (Tabela 2). Nesta safra, os fosfitos de manganês, Ranger®, magnésio, Titanium® e a testemunha não apresentaram diferenças, diferindo dos fosfitos de cálcio e de cobre e da aplicação de fungicida, os quais apresentaram menores valores. Na safra de 2024 a maior produtividade ($1245,5 \text{ kg ha}^{-1}$) foi obtida com a aplicação de fosfito de cálcio, não diferindo dos tratamentos Ranger® e fosfito de magnésio, dos fungicidas e da testemunha e, apresentando-se superiores às demais fontes de fosfito.

Para a produção de vagem apenas o fator safra ($F = 37,29$; $p = 0,0088$) apresentou efeito significativo, não se observando diferenças entre os tratamentos ($F = 1,21$; $p = 0,3195$) e interação ($F = 1,68$; $p = 0,1420$), com a maior produtividade na safra de 2024, com média de $318,62 \text{ kg ha}^{-1}$, acréscimo de 94,1% em relação à safra de 2023 (Tabela 2). A produtividade de grãos teve efeito da interação entre os tratamentos e as safras ($F = 5,15$; $p = 0,0003$), em que na safra de 2024 observou-se os maiores valores, para todos os tratamentos (Tabela 2).

Na safra de 2023 a maior produtividade de grãos (Tabela 2) foi obtida com a testemunha ($477,3 \text{ kg ha}^{-1}$), não diferindo das aplicações dos tratamentos Ranger®, fosfitos de magnésio, de manganês e Titanium® e, diferindo dos demais tratamentos e fungicida, que apresentou menor valor. Na safra de 2024, a maior produtividade foi obtida com a aplicação do fosfito de cálcio ($874,7 \text{ kg ha}^{-1}$), que não diferiu estatisticamente das aplicações dos fosfitos Ranger®, de magnésio e Titanium® e dos fungicida, diferindo dos demais tratamentos.

Tabela 2 – Valores médios de produtividade total (vagens e grãos), de vagens e de grãos de feijão-caupi em função da aplicação de fontes de fosfíto para manejo da antracnose (*Colletotrichum* spp.) em duas safras de cultivo.

Safra	Fos-Ca	Fos-Cu	Ranger®	Fos-Mg	Fos-Mn	Titanium®	Fungic.	Test.	Média
----- mL L ⁻¹ -----									
Produtividade Total (kg ha⁻¹)									
2023	547,5 bB	510,5 bB	641 aB	626,5 aB	652 aB	633 aB	431 bB	668 aB	588,6
2024	1242,5 aA	1004 bA	1186 aA	1216,5 aA	1017 bA	1170 bA	1166,5 aA	1059 aA	1133,4
Média	898	757,25	913,5	912,5	834,5	901,5	798,8	863,5	861,06
Produtividade de Vagens (kg ha⁻¹)									
2023	151,5	141	192	185,5	174	167,5	123	179	164,18 B
2024	350,5	289,5	317	344,5	296	323,5	339,5	288,5	318,62 A
Média	251a	215,25a	254,5a	265a	235a	245,5a	231,25a	233,75a	241,40
Produtividade de Grãos (kg ha⁻¹)									
2023	386,5 bB	360,7 bB	438,3 aB	430,5 aB	466,6 aB	454,4 aB	300,6 cB	477,3aB	414,4
2024	874,7 aA	696,0 bA	846,5 aA	849,4 aA	702,3 bA	824,6 aA	805,6 aA	750,5bA	793,7
Média	630,6	528,3	642,4	639,9	584,5	639,5	553,1	613,9	604,0

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. [®]Fungicida Amistar[®] e Thiobel[®]; Titanium[®]: composto por fosfíto de cobre, manganês e zinco; Médias seguida pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott e F, respectivamente.

Para as variáveis de fluorescência (F₀, F_m, F_v, F₀/F_m e F_v/F_m) não se observou interação entre os fatores tratamento e safra (F = 1,75; p = 0,1254; F = 0,96; p = 0,4733; F = 1,12; p = 0,3717; F = 1,69; p = 0,1394; F = 1,57; p = 0,1731; respectivamente), e nem efeito de tratamentos (F = 1,06; p = 0,4063; F = 0,75; p = 0,6282; F = 0,56; p = 0,7801; F = 0,64; p = 0,7229; F = 0,61; p = 0,7420; respectivamente). Entretanto, para o fator safra, as médias foram de 154 e 57,5 (F = 479,49; p = 0,0002) para a fluorescência inicial, de 506,4 e 253,7 (F = 3076,52; p < 0,0000) para a fluorescência máxima, de 352,4 e 196,3 (F = 315,28; p = 0,0004) para a fluorescência variável, de 3,46 e 2,33 (F = 44,86; p = 0,0068) para a relação entre processos fotoquímicos e não fotoquímicos, e de 0,77 e 0,69 (F = 51,49; p = 0,0056) para a eficiências quântica dos fotossistema II, safras de 2023 e 2024, respectivamente.

Para o índice de clorofila total ICL_t (F = 14,73; p = 0,031) foi observado efeito da safra de forma isolada, de 69,79 e 64,32 nas safras 2024 e 2023, respectivamente (Tabela 3). Para Teor de Clorofila *a* e teor de clorofila *b* não foram observadas interações entre os fosfíto e os anos de safra. Observa-se efeito isolado da safra para a variável temperatura da folha Tleaf (F = 80,99 p = 0,002), de 33,0 na safra 2024 e 39,9 na safra 2023. Para a relação ICL_a/ICL_b (F = 2,55 p = 0,028) foi observado efeito apenas nos tratamentos de forma isolada. Os fosfíto de cálcio e cobre apresentaram maiores valores e não diferiram do fungicida e da testemunha, diferindo dos outros tratamentos (Tabela 3).

Para a Condutância estomática ($F = 3,43$ $p = 0,005$) infere-se efeito isolado dos tratamentos, o fosfito de cálcio apresentou menor valor de Gs e não diferiu da testemunha. Efeito isolado dos tratamentos na variável Resistência estomática ($F = 3,02$ $p = 0,01$) em que o fosfito de cálcio apresentou maior valor e diferiu dos demais fosfitos e do fungicida, não diferindo da testemunha. Para a Transpiração observa-se efeito isolado para safra ($F = 20,34$ $p = 0,020$) e para tratamento ($F = 2,37$ $p = 0,04$), na safra 2024 teve maiores valores de transpiração, enquanto os fosfitos Ranger®, magnésio, Titanium® e o fungicida apresentaram os maiores valores. Para as trocas gasosas, assimilação de CO₂, concentração de CO₂ nos espaços intercelulares, eficiência no uso da água, eficiência intrínseca no uso da água e eficiência instantânea de carboxilação não foram observadas interações entre os fosfitos e as safras (Tabela 3).

Tabela 3 – Valores médios de índices foliares de clorofila *a/b* (ICL *a/b*), Condutância estomática (Gs), Resistência estomática (Rs), Transpiração (E) de plantas de Feijão-caupi em função da aplicação de fontes de fosfito para indução de resistência a antracnose em campo, nas safras de cultivo.

Fosfitos mL L ⁻¹									
Safra	Ca	Cu	Ranger®	Mg	Mn	Titanium®	Fungic.	Test.	
Média de ICLa/ICLb									
2023	2,17	2,36	1,78	1,67	1,85	1,83	2,12	2,07	1,98 A
2024	1,57	1,65	1,44	1,52	1,68	1,57	1,59	1,73	1,60 A
Média	1,87 a	2,01 a	1,61 b	1,60 b	1,77 b	1,70 b	1,85 a	1,90 a	1,79
Média de Gs									
2023	0,24	0,27	0,31	0,28	0,30	0,28	0,27	0,26	0,27 A
2024	0,28	0,31	0,32	0,33	0,30	0,33	0,35	0,25	0,31 A
Média	0,26 b	0,29 a	0,32 a	0,30 a	0,30 a	0,30 a	0,31 a	0,26 b	0,29
Média de Rs									
2023	4,25	3,90	3,25	3,72	3,49	3,66	3,82	3,94	3,76 A
2024	3,61	3,27	3,29	3,05	3,31	3,12	2,98	3,97	3,33 A
Média	3,93 a	3,58 b	3,27 b	3,38 b	3,40 b	3,39 b	3,40 b	3,95 a	3,54
Média de E									
2023	2,34	2,52	2,83	2,56	2,59	2,98	2,88	2,50	2,65 B
2024	3,16	3,05	3,41	3,36	3,19	3,43	3,55	2,79	3,24 A
Média	2,75 b	2,79 b	3,12 a	2,96 a	2,89b	3,21 a	3,21 a	2,64 b	2,94

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ^ΦFungicida Amistar® e Thiobel®; Titanium®: composto por fosfito de cobre, manganês e zinco; Médias seguida pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott e F, respectivamente.

Observa-se efeito isolado para os tratamentos ($F = 26,65$ $p > 0,000$) na variável Área Abaixo da Curva de progresso da doença (AACPD), onde as fontes de fosfito apresentaram valores abaixo ao apresentado pela testemunha e acima do fungicida (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores médios da área abaixo da curva de progresso da doença em plantas de feijão-caupi em função da aplicação de fosfitos para indução de resistência a antracnose (*Colletotrichum* spp.) nas safras de cultivo.

Safra	Fosfitos mL L ⁻¹								Média
	Ca	Cu	Ranger	Mg	Mn	Titanium	Fungic.	Test.	
	AACPD								
2023	66,39 (50,9%)	76,70 (43,3%)	70,72 (47,7%)	56,40 (58,3%)	78,73 (41,8%)	82,68 (38,8%)	29,85 (77,9%)	135,2	74,59 A
2024	76,47 (60,4%)	100 (48,4%)	74,93 (61,4%)	74,00 (61,8%)	84,82 (43,6%)	60,76 (68,7%)	19,34 (90,0%)	194,1	85,59 A
Média	71,56 b	88,36 b	72,83 b	65,20 b	81,77 b	71,72 b	24,59 c	164,7a	80,09

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ^ΦFungicida Amistar® e Thiobel®; Titanium®: composto por fosfito de cobre, manganês e zinco; Médias seguida pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott e F, respectivamente.

Para a atividade enzimática, a enzima polifenoloxidase apresentou efeito apenas de forma isolada entre as safras ($F = 43,54$ $p = 0,007$), em que a safra 2024 apresentou valores de 0,45 enquanto a safra 2023 foi de 0,35. Observou-se efeito significativo entre as fontes de fosfito e as safras ($F = 2,76$ $p > 0,01$) para a variável peroxidase (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios da atividade enzimática da Peroxidase em plantas de feijão-caupi em função da aplicação de fosfitos para indução de resistência a antracnose (*Colletotrichum* spp.) nas safras de cultivo.

Safra	Fosfitos mL L ⁻¹								Média
	Ca	Cu	Ranger	Mg	Mn	Titanium	Fungic.	Test.	
	Peroxidase								
2023	255,06 aA	240,27 aA	232,10 aA	202,37 aA	417,40 aA	219,52 aA	294,56 aA	233,84 aA	261,89
2024	113,18 bA	204,06 aA	176,65 aA	121,27 aA	125,91 bA	108,51 bA	63,24b bB	157,77 aA	133,82
Média	184,12	222,16	204,38	161,82	271,65	164,02	178,90	195,80	197,86

Fonte: Elaborado pelo próprio autor, 2025. ^ΦFungicida Amistar® e Thiobel®; Titanium®: composto por fosfito de cobre, manganês e zinco; Médias seguida pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott e F, respectivamente.

Na safra 2023 a atividade da peroxidase para as fontes de fosfito não apresentaram diferenças, enquanto a safra 2024 os fosfitos de cobre, Ranger® e magnésio não diferiram entre si e apresentaram incremento na atividade desta enzima, apresentando ativação da defesa da planta (Tabela 5).

4.4 DISCUSSÃO

Muitas pesquisas investigam o efeito do fosfito no controle de doenças em diferentes culturas (Gadaga et al., 2017; Santos et al., 2018; Xi et al., 2020), no entanto, em relação as respostas produtivas, fisiológicas e bioquímicas, informações ainda são escassas para a cultura

do feijão-caupi, sendo esse, provavelmente, o primeiro relato que demonstra evidências dessa interação.

As fontes de fosfito têm ganhado destaque no mercado por não prejudicar o ambiente, controlar uma gama de fitopatógenos e mitigar os danos causados por estresses abióticos. Estudos relatam que eles não são assimilados diretamente pelas plantas como fonte de fósforo, podem ser lentamente oxidados em fosfatos pelas bactérias do solo e então absorvidos pelas raízes como nutriente (Xi et al., 2020). Apesar de não ser assimilado pela planta, os fosfitos têm auxiliado a planta em melhorar seu rendimento e qualidade das culturas, uma vez que induz resistência a uma ampla gama de estresses bióticos e abióticos (Han et al., 2021).

Neste estudo, quando se observa a produtividade, a safra 2024 apresentou maior produtividade de grãos, dentre as fontes de fosfito. Menor incremento nesta variável foi o fosfito de cobre, porém não limitou a produtividade, quando comparado com a testemunha e o fungicida. Plantas de maracujazeiro tratadas com aplicação de fosfito de potássio apresentaram incremento na produtividade, número de frutos por hectare e redução na severidade de doenças causadas por virose e bacteriose (Junqueira et al., 2011). Santos et al. (2018) observaram que a aplicação de fosfito de potássio não se apresentou eficiente no controle de oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) causador de doença foliar no trigo e não incrementou na produtividade dele (*Triticum* spp.), diferindo dos resultados da presente pesquisa.

Com relação a fluorescência, estes só apresentaram diferenças entre as safras e as aplicações de fosfito não incrementaram nem prejudicaram a absorção e o transporte de elétrons no fotossistema II, quando comparamos seus valores com os obtidos pela testemunha e fungicida. Valores de Eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_0) e relação entre processos fotoquímicos e não fotoquímicos (F_v/F_m) podem ser usados para identificar a condição de dano no centro de reação do PSII, especialmente, quando esses valores são reduzidos (Xi et al., 2020).

Infecções causadas por patógenos, comprometem significativamente a eficiência do aparato fotossintético, resultando na redução dos teores totais de clorofila $a + b$ e de carotenoides nos tecidos vegetais. Essa diminuição dos pigmentos fotossintéticos reflete-se negativamente nos parâmetros de fluorescência da clorofila a , indicando prejuízos ao desempenho fisiológico da planta (Fontes et al., 2024).

As plantas de feijão-caupi tratadas com fosfito de cobre e cálcio apresentaram maiores valores da relação entre clorofila a e b e não diferiram da testemunha e do fungicida. Valores elevados dessa relação implica em danos nos centros de reações dos fotossistemas, com relação aos teores de clorofila total e, só foi observado diferenças entre as safras, onde a safra 2024 apresentou maiores teores. Fontes et al. (2024) observaram que plantas de soja (*Glycine max*

L.) tratadas com fosfito de níquel e potássio apresentaram incremento nos valores de clorofila total quando comparadas com plantas inoculadas com *Phakopsora pachyrhizi* e tratadas com água. Plantas de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) tratadas com fosfito de manganês e inoculadas por *Sclerotinia sclerotium*, agente causal do mofo branco, exibiram menor comprometimento do aparelho fotossintético, apresentando maiores valores de eficiência quântica do fotossistema II, relação entre processos fotoquímicos e não fotoquímicos e preservação da clorofila total. Também foi observada por Chaves et al. (2021) a assimilação líquida de carbono, condutância estomática ao vapor d'água e taxa de transpiração.

Os danos causados por patógenos reduz o influxo de CO₂ na cavidade subestomática nas folhas devido ao fechamento ou destruição dos estômatos, restrições bioquímicas no mesófilo e atividade reduzida da ribulose biscofosfato carboxilase, que impactam severamente o aparelho fotossintético (Fontes et al., 2024). Plantas tratadas com fosfito de cálcio apresentaram condutância estomática inferior aos demais tratamentos com fosfito. Valores inferiores refletem restrição das trocas gasosas, o que reflete também na resistência estomática (Rs) que apresentou maiores valores as plantas tratadas com o fosfito de cobre. Complementado a observação anterior, essas plantas apresentam dificuldades para as folhas realizarem as trocas gasosas, apresentando os estômatos danificados ou parcialmente fechados. Plantas tratadas com fosfito de cálcio e plantas tratadas com fosfito de cobre e manganês apresentaram menor evapotranspiração. Apesar desses danos, as trocas gasosas e a assimilação de CO₂ da planta não foram afetadas, já que as plantas tratadas e avaliadas não apresentaram diferenças significativas. Os parâmetros fisiológicos de mudas de faia europeia (*Fagus sylvatica* L.) inoculadas com *Phytophthora plurivora* e tratadas com fosfito não apresentaram efeitos benéficos ou adversos na assimilação de CO₂ e absorção de água (Dalio et al., 2014).

A aplicação de fontes de fosfito minimizou os danos causados pelo patógeno em plantas de feijão-caupi, reduzindo a área abaixo da curva de progresso da doença, diferindo do fungicida e da testemunha a qual apresentou maior e menor eficiência, respectivamente. Gadaga et al. (2017) relatam o efeito positivo da aplicação de fosfito de potássio, zinco, manganês e cobre na redução do progresso da antracnose em feijoeiro comum quando comparado com a testemunha. Dentre essas fontes de fosfito as que apresentaram maior eficiência em inibir o progresso da doença foram os fosfitos de potássio, zinco e manganês. Esses resultados comprovam a eficiência das diferentes fontes de fosfito no controle de doenças em diferentes patossistemas.

Pesquisas comprovam a eficiência dos fosfitos na redução da doença em outras culturas, Nascimento et al. (2016) comprovaram a eficiência da aplicação foliar de fosfito de potássio na

redução da área abaixo da curva de progresso da doença em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) inoculadas com *Bipolaris oryzae*. Similarmente, Araújo et al. (2015) comprovaram a eficácia da aplicação de fosfito de potássio na redução da área abaixo da curva de progresso da doença em mangueira (*Mangifera indica* L.) causado pelo patógeno *Ceratocystis fimbriata*. Mudanças de *F. sylvatica* inoculadas com *P. plurivora* e tratadas com fosfito não apresentaram sintomas aparentes e nem mortalidade, quando comparadas as mudas inoculadas e não tratadas com fosfito comprovando a eficiência do elicitor. Santos et al. (2018) em sua pesquisa não observaram eficiência no controle de oídio (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*) em plantas de trigo, observando redução da severidade apenas da ferrugem da folha (*Puccinia triticina*) tratadas com fosfito de potássio.

Fagundes-Nacarath et al. (2018) avaliando a aplicação de fosfito de zinco e cobre em plantas de feijão comum observaram eficiência na redução da área da lesão e da severidade do mofo branco causado por *Sclerotinia sclerotiorum*, onde observações histopatológicas evidenciaram eficiência dos fosfitos na redução das hifas e um menor colapso das células do mesofilo das plantas quando comparadas com as plantas tratadas apenas com água. A resistência induzida aumenta a capacidade defensiva da planta contra o ataque de patógenos, preparando-a para desafios bióticos subsequentes (Nascimento et al., 2016). Os fosfitos têm essa capacidade de preparar respostas imunes na planta induzindo respostas de defesa (Xi et al., 2020).

Nessa presente pesquisa, também foi evidenciada a atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase. A atividade da polifenoloxidase foi incrementada na safra 2024. Para a enzima peroxidase, na safra 2024 os fosfitos de cobre, magnésio e Titanium apresentaram incremento na atividade enzimática.

Plantas de feijão comum tratadas com fosfito de potássio e manganês e inoculadas com *Colletotrichum lindemuthianum* apresentaram atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase após a inoculação e um pequeno decréscimo na atividade, dias após a inoculação (Gadaga et al., 2017). Nascimento et al., (2016) não observaram incremento da atividade das enzimas peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase em plantas de arroz tratadas com fosfito de potássio.

4.5 CONCLUSÃO

Os fosfitos Ranger[®] e magnésio obtiveram maiores valores de produtividade nas duas safras;

A relação clorofila a/b apresentou maiores valores quando tratadas com fosfito de cálcio e cobre;

Para as trocas gasosas, os fosfitos de cobre, ranger[®], magnésio manganês e Titanium[®] influenciaram positivamente a condutância estomática e a resistência estomática permitindo maior troca gasosa, a transpiração foi maior nas plantas tratadas com os fosfitos Ranger[®], magnésio e Titanium[®];

Todos as fontes de fosfito apresentaram potencial de controle da antracnose;

A maior atividade da enzima peroxidase foi observada nas plantas tratadas com os fosfitos de cobre, Ranger[®] e manganês.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L. SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANDRADE, B. R. D.; DA SILVA, M. L. R. B.; DE OLIVEIRA, L. G.; DA ROSA, R. C. T.; GURGEL, L. M. S.; DE PAULA OLIVEIRA, J. Ação antagônica à *Macrophomina phaseolina* e *Fusarium oxysporum* e diversidade genética de bactérias obtidas de solo cultivado com *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 26, n. 2, 2021.
- ARAUJO, L.; BISPO, W. M. S.; RIOS, V. S.; FERNANDES, S. A.; RODRIGUES, F. A. Induction of the phenylpropanoid pathway by acibenzolar-s-methyl and potassium phosphite increases mango resistance to *Ceratocystis fimbriata* infection. **Plant Disease**, v. 99, p. 447–459, 2015.
- BARROS, S. C. S.; CASTRO, W. C. P.; WERNER, H. A.; MORAIS, K. G. B.; COSTA ESTEVES, M. P.; NUNES, T. L.; DE QUADROS, B. R. Qualidade de sementes de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) produzidas em Paragominas, Pará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, p. e114101623161, 2021.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 1976.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. 1. ed. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- CAVALCANTI, F. J. de A. (Coord.). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3. ed. rev. Recife: Instituto Agrônômico de Pernambuco, 2008. 212p.
- CHAVES, J. A. A.; OLIVEIRA, L. M.; SILVA, L. C.; SILVA, B. N.; DIAS, C. S.; RIOS, J. A.; RODRIGUES, F. Á. Physiological and biochemical responses of tomato plants to white mold affected by manganese phosphite. **Journal of Phytopathology**, v. 169, n. 3, p. 149–167, 2021.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Safra brasileira de grãos. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos>> . Acesso em: 11 maio 2025.
- DALIO, R. J. D.; FLEISCHMANN, F.; HUMEZ, M.; OSSWALD, W. Phosphite protects *Fagus sylvatica* seedlings towards *Phytophthora plurivora* via local toxicity, priming and facilitation of pathogen recognition. **PLoS ONE**, v. 9, n. 1, e87860, 2014.
- DALLA PRIA, M.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Quantificação de componentes monocíclicos da antracnose do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 401–407, 2003.

DE OLIVEIRA NASCIMENTO, I.; DOS SANTOS ROCHA, F. D. N.; SOUSA, L. F. S.; DE GOIS, L. D. J. M.; DE ABREU ARAÚJO, R.; MARINHO, D. L. C.; DA CONCEIÇÃO SOUZA, J. L. Seleção, identificação e avaliação de isolados de *Trichoderma* spp. com potencial para indução de resistência e promoção de crescimento do feijão-caupi em ensaios de casa de vegetação. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 7, p. e15956–e15956, 2025.

DEMARTELAERE, A. C. F.; PRESTON, H. A. F.; PRESTON, W.; DA MATA, T. C.; DA COSTA, W. P. L. B.; DE MEDEIROS, D. C.; CANDIDO, D. Controle biológico da murcha de fusarium no feijão caupi. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4798–4818, 2021.

DUANGMAL, K.; APENTEN, R. K. O. A comparative study of polyphenol oxidases from taro (*Colocasia esculenta*) and potato (*Solanum tuberosum* var. Romano). **Food Chemistry**, London, v.64, p.351-359, 1999.

FAGUNDES-NACARATH, I. R. F.; DEBONA, D.; OLIVEIRA, A. T. H.; HAWERROTH, C.; RODRIGUES, F. A. Biochemical responses of common bean to white mold potentiated by phosphites. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 132, p. 308–319, 2018.

FONTES, B. A.; SILVA, L. C.; PICANÇO, B. B. M.; BARROS, A. V.; LEAL, I. M. G.; QUADROS, L. P.; RODRIGUES, F. Á. Resistance in soybean against infection by *Phakopsora pachyrhizi* is induced by a phosphite of nickel and potassium. **Plants**, v. 13, n. 22, p. 3161, 2024.

GADAGA, S. J. C.; ABREU, M. S. D.; RESENDE, M. L. V. D.; RIBEIRO, P. M. Phosphites for the control of anthracnose in common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 36–44, 2017.

HAN, X.; XI, Y.; ZHANG, Z.; MOHAMMADI, M. A.; JOSHI, J.; BORZA, T.; WANG-PRUSKI, G. Effects of phosphite as a plant biostimulant on metabolism and stress response for better plant performance in *Solanum tuberosum*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 210, p. 111873, 2021.

JUNQUEIRA, K. P.; FALEIRO, F. G.; UESUGI, C. H.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BELLON, G.; SANTOS, E. C. D.; RAMOS, L. N. Desempenho agrônômico de maracujazeiros tratados com produtos alternativos e fertilizantes foliares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 040–047, 2011.

MCKINNEY, H. H. Influence of soil, temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, v. 26, n. 5, p. 195–217, 1923.

MORALES-MORALES, E. J.; MARTÍNEZ-CAMPOS, Á. R.; LÓPEZ-SANDOVAL, J. A.; CASTILLO GONZÁLEZ, A. M.; RUBÍ-ARRIAGA, M. Los fosfitos y sus aplicaciones en la agricultura. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 13, n. 2, p. 345–354, 2022.

NASCIMENTO, K. J. T.; ARAUJO, L.; RESENDE, R. S.; SCHURT, D. A.; SILVA, W. L. D.; RODRIGUES, F. D. Á. Silicon, acibenzolar-S-methyl and potassium phosphite in the control of brown spot in rice. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p. 212–221, 2016

OLIVEIRA, W. R.; PASCUALI, L. C.; SOUSA, S.; PORTO, A. G.; CHRIST, A. J.; CARVALHO, J. W. P. Influência de extratos vegetais na qualidade fisiológica e sanitária de sementes de feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 4, p. e3760–e3760, 2024.

PINTO, K. M.; DE NORONHA, D. A.; MOSSER, L. M. Qualidade sanitária de sementes crioulas de feijão no agreste de Pernambuco. **Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability**, 2021.

RONCATO, M. C.; PASCHOLATI, S. F. Alterações na atividade e no perfil eletroforético da peroxidase em folhas de milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) tratadas com leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.55, n.3, p.395-402, 1998.

SANTOS, H. A. A. D.; PRIA, M. D.; SILVA, O. C. D.; MAY-DE-MIO, L. L. Phosphites and acibenzolar-S-methyl alone and combined with fungicides for the control of biotrophic pathogens of wheat. **Summa Phytopathologica**, v. 44, n. 2, p. 132–136, 2018.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effects of nitrogen fertilization on the expression of slow mild wing in knox wheat. **Phytopathology**, 67: 1051-1055, 1977.

SIQUEIRA, I. T. D. D.; CRUZ, L. R.; SOUZA-MOTTA, C. M. D.; MEDEIROS, E. V. D.; MOREIRA, K. A. Indução de resistência por acibenzolar-S-metil em feijão caupi no controle da antracnose. **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 1, p. 76–82, 2019.

SOBRINHO, C. A.; PAZ FILHO, E. R.; DIAS, L. R. C.; SANTOS, A. R. B.; DA SILVA, P. H. S.; NICOLINI, C.; DA SILVA, L. M. A. Perfil sanitário e tratamento de sementes de feijão-caupi com óleo essencial de *Lippia lasiocalycina* Cham. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, p. e19212240182–e19212240182, 2023.

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W. G.. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, v.4. 2017.

UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica**, Best Dagan, v.34,n.1, p.68-71, 2006.

XI, Y.; HAN, X.; ZHANG, Z.; JOSHI, J.; BORZA, T.; AQA, M. M.; WANG-PRUSKI, G. Exogenous phosphite application alleviates the adverse effects of heat stress and improves thermotolerance of potato (*Solanum tuberosum* L.) seedlings. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 190, p. 110048, 2020.

ANEXOS

Anexo 1 – Análise físico-química da água do poço artesiano

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	16.490,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH a 26,0°C	7,8	6,0 a 9,0
Turbidez, (uT)	0,7	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	0,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	777,0	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	995,4	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	6.090,0	300,0
Sódio (Na^+), mg/L	1.613,8	200,0
Potássio (K^+), mg/L	16,2	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,05	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO_3)	338,0	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO_3)	338,0	---
CO_2 livre (mg/L)	24,7	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	513,5	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,1	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	6.070,5	250,0
Nitrato (N-NO_3^-), mg/L	0,07	10,0
Nitrito (N-NO_2^-), mg/L	0,011	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	7,32	1,2
Silica, mg/L (SiO_2)	78,3	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	1,57	-0,5 a 0,1
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	10.484,6	500,0

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira Portaria 888/2021 do Ministério da Saúde.

LAUDO: De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água **não** se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- 2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.
- 3- As análises dos parâmetros foram realizadas em triplicata.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ – 9.19.3.1303118)