

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE
FEIJÃO SOB DÉFICIT HÍDRICO E INOCULAÇÃO DE
*Macrophomina phaseolina***

EDVÂNIA APARECIDA DOS SANTOS CARDOSO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2019**

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE FEIJÃO SOB DÉFICIT HÍDRICO E INOCULAÇÃO DE *Macrophomina phaseolina*

**EDVÂNIA APARECIDA DOS SANTOS CARDOSO
ENGENHEIRA AGRÔNOMA**

Orientadora: PROF. DRA. SILVANA DE PAULA QUINTÃO SCALON

Co-Orientadora: PROF. DRA. LILIAN MARIA ARRUDA BACCHI

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C268r Cardoso, Edvania Aparecida Dos Santos
RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE FEIJÃO SOB DÉFICIT HÍDRICO E
INOCULAÇÃO DE *Macrophomina phaseolina* [recurso eletrônico] / Edvania Aparecida Dos
Santos Cardoso. -- 2020.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Silvana de Paula Quintão Scalon.

Coorientadora: Lilian Maria Arruda Bacchi.

Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Tolerância. 2. Suspensão da irrigação. 3. Estresse. I. Scalon, Silvana De Paula Quintão. II.
Bacchi, Lilian Maria Arruda. III. Título.

**Ficha Catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pela
autora.**

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

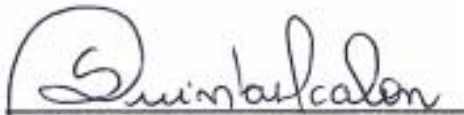
**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE FEIJÃO SOB DÉFICIT
HÍDRICO E INOCULAÇÃO DE *Macrophomina phaseolina***

Por

EDVÂNIA APARECIDA DOS SANTOS CARDOSO

**Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do
título de MESTRE EM AGRONOMIA**

Aprovada em: 11/04/2019


Silvana de Paula Quintão Scalon
Orientadora-UFGD/FCA


Luiz Carlos Ferreira de Souza
UFGD/FCA


Cláudia de Souza Zanella
UEMS

A minha mãe Vani (*in memoriam*) pelo amor incondicional e pelo exemplo de força, perseverança e fé.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora Aparecida por me iluminarem nessa jornada.

Ao meu pai Ednaldo e meu irmão Diego que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram com todo amor.

A minha orientadora Silvana de Paula Quintão Scalon, co-orientadora Lilian Maria Arruda Bacchi e professora Daiane Mugnol Dresch pela orientação, ensinamentos e paciência.

Aos meus amigos de pós-graduação Jéssica, Lorraine, Maíson, Edineia e Lucas por todo apoio e companheirismo.

Ao Prof. Dr. Gessi Ceccon pelo fornecimento das sementes de feijão.

As amigas Meriane, Noely Taques e Natalí pelo carinho e suporte.

Ao meu namorado Francisco pelo apoio, carinho e compreensão.

A Universidade Federal da Grande Dourados, Programa de Pós-Graduação em Agronomia-UFGD e CAPES pelo suporte para o desenvolvimento da pesquisa e a concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO	PÁGINA
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO GERAL..	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4

**CAPÍTULO I - METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO DE CULTIVARES DE
FEIJÃO EM FUNÇÃO DA INOCULAÇÃO DE *Macrophomina phaseolina* E
DISPONIBILIDADES HÍDRICAS**

RESUMO	7
ABSTRACT	7
INTRODUÇÃO.....	7
MATERIAL E MÉTODOS.....	9
RESULTADOS	12
DISCUSSÃO.....	19
CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

**CAPÍTULO II - CRESCIMENTO E RESPOSTAS PROTETIVAS DE
CULTIVARES DE FEIJÃO INOCULADAS COM *Macrophomina phaseolina* E
SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO**

RESUMO	29
ABSTRACT	29
INTRODUÇÃO.....	29
MATERIAL E MÉTODOS.....	32
RESULTADOS	36
DISCUSSÃO.....	49
CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS	57

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PÁGINA

- FIGURA 1. Fotossíntese líquida – A em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).....13
- FIGURA 2. Transpiração – E (A); Eficiência do uso da água – EUA (B) em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).....14
- FIGURA 3. Concentração interna de CO₂ – Ci em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).....15
- FIGURA 4. Eficiência da carboxilação da rubisco – A/Ci (A); condutância estomática – Gs (B) em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).....16
- FIGURA 5. Eficiência intrínseca do uso da água - EIUA em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras

minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).....17

FIGURA 6. Índice de Clorofila (Spad) em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).....17

FIGURA 7. Conteúdo Relativo de Água (CRA %) em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).....18

FIGURA 8. Eficiência quântica potencial do fotossistema II – FV/FM (A); Fluorescência Inicial -F₀, (B) em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).....19

CAPÍTULO II

PÁGINA

FIGURA 1. Conteúdo relativo de água -CRA% (A); Massa seca da parte aérea (B) Massa seca de raiz (C); Diâmetro de colo (D) de feijão-caupi cultivar Guariba em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.....37

FIGURA 2. Área foliar (A); Número de folíolos (B) de feijão-caupi cultivar Guariba em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara

a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.....38

FIGURA 3. Atividade enzimática de peroxidase nas folhas (POD folhas) **(A)** e raízes (POD raízes) **(B)**; Atividade enzimática de superóxido dismutase nas folhas (SOD Folhas) **(C)** e raízes (SOD raízes) **(D)** de feijão-caupi cultivar Guariba em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.....39

FIGURA 4. Tamanho de lesão radicular **(A)**; Porcentagem de raiz lesionada **(B)** de feijão-caupi cultivar Guariba em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação ao longo do período experimental.....40

FIGURA 5. Massa seca de parte aérea **(A)**; Comprimento de raiz **(B)** de feijão-caupi cultivar Tumucumaque em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação. * Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma inoculação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes inoculações.....41

FIGURA 6. Massa Seca de raiz **(A,B)**; Diâmetro de colo **(C)**; Conteúdo relativo de água -CRA **(D)**; de feijão-caupi cultivar Tumucumaque em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma condição de inoculação ou irrigação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes condições de inoculação ou irrigação.....42

- FIGURA 7. Área foliar (**A,B**); Número de folíolos (**C**); Atividade enzimática de superóxido dismutase nas folhas (SOD Folhas) (**D**); de feijão-caupi cultivar Tumucumaque em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma condição de irrigação ou inoculação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes condições de irrigação ou inoculação. * Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma inoculação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes inoculações.....43
- FIGURA 8. Atividade enzimática de peroxidase nas folhas (POD Folhas) (**A**) e raízes (POD raízes) (**B**); Tamanho de lesão radicular (**C**) de feijão-caupi cultivar Tumucumaque em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em *itálico* compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.....44
- FIGURA 9. Diâmetro de colo (**A**); Massa seca parte aérea (**B**); Comprimento de raiz (**C**); Massa Seca de Raiz (**D**) de feijão-comum cultivar Esteio em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em *itálico* compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.....46
- FIGURA 10. Conteúdo relativo de água (**A**); Número de folíolos (**B**); Área foliar (**C,D**) de feijão-comum cultivar Esteio em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma condição de irrigação ou inoculação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes condições de irrigação ou inoculação.....47
- FIGURA 11. Atividade enzimática de peroxidase nas folhas (POD folhas) (**A**) e raízes (POD raízes) (**B**); Atividade enzimática de superóxido dismutase nas folhas (SOD Folhas) (**C**); Tamanho de lesão radicular (**D**) de feijão-comum cultivar Esteio em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-

N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação. *Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma condição de irrigação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes condições de irrigação.....48

FIGURA 12. Porcentagem de raiz lesionada (%) de feijão-comum cultivar Esteio em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma condição de irrigação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes condições de irrigação.....49

RESUMO

Autora: Edvânia Aparecida dos Santos Cardoso
Orientadora: Profa. Dra. Silvana de Paula Quintão Scalon

A cultura do feijão apresenta grande importância econômica para o agronegócio brasileiro, entretanto fatores ambientais adversos e a ocorrência de doenças podem prejudicar sua produtividade, entre eles podemos citar o déficit hídrico e a incidência de doenças fúngicas. Plantas de feijão sob deficiência hídrica sofrem alterações fisiológicas e morfológicas, além disso, a falta de água pode atuar facilitando a infecção de patógenos, tanto por causar debilidade da planta, como por favorecer a multiplicação e desenvolvimento de agentes patogênicos, como é o caso do fungo *Macrophomina phaseolina*, agente causal da podridão de carvão, doença que ataca o sistema radicular das plantas, promovendo lesões que impedem seu crescimento e desenvolvimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar e caracterizar variáveis morfofisiológicas, protetivas e de crescimento em três cultivares de feijão desenvolvidas pela Embrapa BRS Guariba, Tumucumaque e Esteio, para isso foram desenvolvidos dois experimentos, onde as plantas foram submetidas a inoculação de *M. phaseolina* na semeadura com suspensão da irrigação 27 dias após a semeadura em casa de vegetação. O primeiro estudo foi conduzido com quatro tratamentos: Testemunha, Déficit Hídrico, Inoculação e Inoculação com Déficit hídrico, foram avaliadas as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a*, o conteúdo relativo de água nas folhas (CRA%) e índice Spad de clorofila. A cultivar Guariba demonstrou maior tolerância a condição de déficit hídrico, porém maior sensibilidade sob inoculação, o que não impediu sua recuperação. A cultivar Tumucumaque apresentou tolerância intermediária aos parâmetros avaliados, enquanto a Esteio foi mais sensível ao déficit hídrico e inoculação do patógeno, por não apresentar recuperação para as trocas gasosas. O segundo experimento objetivou avaliar o crescimento e as respostas protetivas sobre as mesmas cultivares e condições experimentais. Durante o período de avaliação, as cultivares Guariba e Tumucumaque apresentaram melhores resultados, e mesmo quando menores, posteriormente se recuperaram, enquanto que a cultivar Esteio foi mais prejudicada pelo déficit hídrico associado a inoculação do patógeno. Diante dos resultados desse estudo pode-se concluir que o déficit hídrico isolado e/ou associado ao patógeno desencadearam respostas negativas tanto para trocas gasosas quanto para o crescimento, porém, as cultivares BRS Guariba e Tumucumaque apresentaram melhores resultados as condições estressantes, ao contrário da BRS Esteio que demonstrou maior sensibilidade.

Palavras-chave: Tolerância, Suspensão da irrigação, Estresse.

ABSTRACT

Author: Edvânia Aparecida dos Santos Cardoso
Adviser: Prof^a. Dr^a. Silvana de Paula Quintão Scalon

.The bean crop has great economic importance for Brazilian agribusiness, however unfavorable environmental factors and the occurrence of diseases can affect its yield, among which can be mentioned the water deficit and the incidence of fungal diseases. Bean plants under water deficiency show physiological and morphological changes, in addition, the lack of water can facilitate the infection of pathogens, either by weakening the plant, as well as by favoring the multiplication and development of pathogens. This is the case of *Macrophomina phaseolina*, causal agent of charcoal rot, a disease that harms the root system of plants, promoting lesions that impede their growth and development.

The aim of this study was to evaluate and characterize morphophysiological, protective and growth variables in three bean cultivars developed by Embrapa BRS Guariba, Tumucumaque and Esteio. For this purpose two experiments were conducted in a greenhouse, where the plants were submitted to *M. phaseolina* inoculation during the sowing, with suspension of irrigation 27 days after sowing. The first one was carried out with four treatments Control, Water Deficit, Inoculation and Inoculation with Water Deficit, and gas exchange, chlorophyll fluorescence, relative water content in leaves (RWC%) and chlorophyll spad index were evaluated. The Guariba cultivar showed greater tolerance to the water deficit condition, but greater sensitivity under inoculation, which did not prevent its recovery. The cultivar Tumucumaque showed intermediate tolerance to the parameters evaluated, while Esteio was more sensitive to water deficit and pathogen inoculation, since it did not show recovery for gas exchange. The second experiment aimed to evaluate growth and protective responses of the same cultivars and experimental conditions. During the evaluation period, Guariba and Tumucumaque cultivars presented better results, and even when they were smaller, they later recovered, while the Esteio cultivar was more affected by water deficit associated with inoculation of the pathogen. In view of the results of this study, it can be concluded that the water deficit alone and/or associated with the pathogen triggered negative responses, both for gas exchange and growth, however, BRS Guariba and Tumucumaque cultivars showed better results in stressful conditions, in contrast to BRS Esteio that demonstrated greater sensitivity.

Keywords: Tolerance, Irrigation suspension, Stress.

INTRODUÇÃO GERAL

Há uma crescente demanda mundial por alimentos, enquanto que os recursos hídricos para a agricultura estão diminuindo, aumentando a área cultivada em sequeiro (BLUM, 2011). A disponibilidade de água é um dos fatores ambientais que mais influenciam a produtividade vegetal, principalmente na cultura do feijoeiro. A ocorrência de deficiência hídrica provoca decréscimos na produtividade justamente por inviabilizar o processo fotossintético, pela redução da taxa de assimilação líquida de CO₂ devido ao fechamento estomático, e conseqüentemente, menor produção de fotoassimilados, além de provocar alterações e destruição dos pigmentos fotossintéticos, promove redução na atividade de enzimas do Ciclo de Calvin e altera outras enzimas relacionadas a inibição dos danos oriundos do estresse oxidativo, tais como a superóxido dismutase, a peroxidase e a catalase (BUCHANAN et al., 2000; CAMPELO et al., 2015; COSTA et al., 2015).

A deficiência hídrica favorece o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, como os radicais superóxido (O₂⁻), peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e radicais hidroxila (OH), que danificam as plantas pela oxidação dos pigmentos fotossintéticos e destruição dos lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (REDDY et al., 2004; AZEVEDO NETO et al., 2008). Em contrapartida, as plantas são dotadas de um sistema efetivo para controlar a ação deletéria de radicais livres. As espécies vegetais de forma geral, apresentam alta atividade de algumas enzimas como a superóxido dismutase (SOD) e a peroxidase (POD), que atuam inibindo ou destruindo os radicais livres gerados a partir da identificação do estresse, protegendo o aparato fotossintético, DNA e proteínas, além de preservar a integridade de membranas. Nesse sentido, o sistema de defesa anti-oxidativo tem papel fundamental na aquisição de tolerância pelas plantas (CAVALCANTI et al., 2004; CHAGAS, 2007).

Segundo Nascimento et al. (2011), as respostas das plantas às condições de estresse por deficiência hídrica variam de acordo com a espécie, cultivar, tempo de exposição, fatores edáficos, entre outros. Não existindo uma única variável fisiológica que, por si só, seja indicativa de tolerância à seca, por isso a necessidade e relevância de se avaliar o conjunto de parâmetros que englobam os processos fisiológicos dos vegetais.

A cultura do feijoeiro é uma das culturas mais importantes para a economia nacional, seu valor excede o aspecto econômico, por sua relevância enquanto fator de segurança alimentar e nutricional e sua importância cultural na culinária de diversos países. A nível nacional, devido as condições climáticas favoráveis é possível cultivar feijão em praticamente todo país, em diferentes épocas de semeadura, entretanto expõe

os cultivos a uma grande diversidade climática e disponibilidades hídricas (DIDONET, 2005). As espécies mais cultivadas são *Phaseolus vulgaris* (L.) conhecido como feijão-comum e o *Vigna unguiculata* (L.) Walp. popularmente conhecido como feijão-de-corda, feijão fradinho ou feijão massacar. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), a produção nacional total de feijão da última safra 2017/2018 alcançou cerca de 3.116,2 mil toneladas, com 3.175,3 mil hectares de área plantada. As regiões sul e sudeste detêm os maiores produtores de feijão-comum, o estado do Paraná e Minas Gerais sozinhos abastecem 42% do total produzido, os cultivos desses estados empregam alto nível de tecnologia. Enquanto as regiões norte e nordeste foram responsáveis por 66% da produção total de feijão-caupi na mesma safra agrícola, com uma agricultura voltada a subsistência e baixo nível de tecnificação.

Ressalta-se que o gênero *Phaseolus* é exigente em demanda hídrica, sendo que a baixa disponibilidade de água no solo principalmente nos períodos de germinação, florescimento e enchimento de grãos é um fator limitante a produção dos grãos (AGUIAR et al., 2008; BEEBE et al., 2008; FREIRE FILHO et al., 2011). Por outro lado, o gênero *Vigna* tem se destacado nos últimos anos, por possuir grandes vantagens em condições adversas, como ser moderadamente tolerante tanto à déficit hídrico quanto ao excesso de água no solo, ser tolerante a altas temperaturas, ser pouco exigente adubação e por possuir alta capacidade de recuperação pós estresse (LEITE et al., 2000; NÓBREGA et al., 2001; DEUNER et al., 2011).

Além de afetar as trocas gasosas, a falta de água pode tornar as plantas vulneráveis a problemas fitossanitários, como também favorecer a incidência e reprodução de patógenos. A podridão de carvão causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid tem ganhado destaque por afetar o sistema radicular do feijoeiro, sobretudo em áreas de cultivo sob déficit hídrico e altas temperaturas. A severidade da doença causada por *M. phaseolina* pode variar dependendo do órgão e do estágio de desenvolvimento da planta afetada e das condições ambientais (KAUR et al., 2012), promovendo redução no estande de plantas no campo, baixa qualidade de sementes, morte e maturação precoce das plantas e, conseqüentemente, baixa produtividade de grãos (ABAWI e PASTOR-CORRALES, 1990; MENEZES et al., 2004; ATHAYDE SOBRINHO et al., 2005). Devido às características que *M. phaseolina* apresenta, como ampla gama de plantas hospedeiras, transmissão por sementes, produção de estruturas de resistência e bom desenvolvimento sob temperaturas elevadas e baixa umidade do solo, a principal estratégia de manejo da podridão de carvão deve ser baseada na obtenção de

cultivares com um bom nível de tolerância a este patógeno (ATHAYDE SOBRINHO 2004; NORONHA et al., 2009; LIMA et al., 2012a; 2012b).

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho morfofisiológico de cultivares de feijão inoculadas com o patógeno de solo *Macrophomina phaseolina* e submetidas a déficit hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAWI, G. S.; PASTOR-CORRALES, M. A. **Root rots of bean in Latin America and Africa: Diganosis, Research Methodologies, and Management Strategies.** Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 114 p. 1990.
- AGUIAR, R. S.; MODA-CIRINO, V.; FARIA, R. T.; VIDAL, L. H. I. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008.
- ATHAYDE SOBRINHO, C. **Patossistema caupi x *Macrophomina phaseolina*: método de detecção em sementes, esporulação e controle do patógeno.** 2004. 147p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ATHAYDE SOBRINHO, C.; VIANA, F. M. P.; SANTOS, A. A Doenças fúngicas e bacterianas. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**, Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 463-484.
- AZEVEDO NETO, A. D.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J. T. Salinity and oxidative stress. In: **Khan NA, Sarvajeet S (eds), Abiotic Stress and Plant Responses**, p.58-82. IK International, 2008.
- BEEBE, S. E.; IDUPULAPATI, R. A. O.; MATTHEW, W. B.; BUTARE, L. Selection for drought resistance in common bean also improves yield in phosphorus limited and favorable environments. **Crop Science**, v. 48, n. 2, p. 582-592, 2008.
- BLUM, A. Drought resistance – is it really a complex trait? **Functional Plant Biology**, v. 38, p. 753–757, 2011.
- BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. Biochemistry and molecular biology of plants. **American Society of Plant Physiologists**, 2000. p.1408.
- CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 973-983, 2015.
- CAVALCANTI, F. R.; OLIVEIRA, J. T. A.; MARTINS-MIRANDA, A. S.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-stressed cowpea plants. **New Phytologist**, v.163, p.563-571, 2004.
- CHAGAS, R.M. **Alterações fotossintéticas e respostas oxidativas em plantas de cana-deaçúcar (*Saccharum officinarum* L.) tratadas com paraquat.** 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
- CONAB. Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, Terceiro levantamento**, v.6, safra 2018/2019, n.3, dezembro 2018.

2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>

COSTA, A. S.; FREIRE, A. L. O.; BAKKE, I. A.; PEREIRA, F. H. F. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) ao déficit hídrico e posterior recuperação. **Irriga**, v. 20, n. 4, p. 705-717, 2015.

DEUNER, C.; DE SOUZA MAIA, M.; DEUNER, S.; DA SILVA ALMEIDA, A.; MENEGHELLO, G. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, 2011.

DIDONET, A. D. Ecofisiologia e rendimento potencial do feijoeiro. In: Peloso, M. J. Del; Melo, L. C. (ed.) **Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro comum**, Embrapa Arroz e Feijão, 2005. Cap.1, p.9-37.

FREIRE FILHO, F.R; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M.M; SILVA, K.J.D.; NOGUEIRA, M.S.R; RODRIGUES, E.V. In: **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Embrapa Meio-Norte, v. 1, 84 p. 2011.

KAUR, S.; DHILLON, G. S.; BRAR, S. K.; VALLAD, G. E.; CHAND, R.; CHAUHAN, V. B. Emerging phytopathogen *Macrophomina phaseolina*: biology, economic importance and current diagnostic trends. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 38, n. 2, p. 136–51, 2012.

LEITE, M. de L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. das. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA 821. III. Produção. **Revista de Agricultura**, v. 75, n. 1, p. 920, 2000.

LIMA, L. R. L.; SOUSA, C. M. B. de; PIRES, C. de J.; SOUSA, M. B. e; NORONHA, M. de A. LOPES, A. C. de A.; SILVA, K. J. D. e. **Avaliação de germoplasma de feijão-caupi de porte ereto e semi-ereto para resistência à *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.** Anais... In: II Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, 2012b.

LIMA, L. R. L.; SOUSA, C. M. B. de; TORRES, M. H. R. M.; NORONHA, M. de A. LOPES, A. C. de A.; SILVA, K. J. D. e. **Reação de germoplasma de feijão-caupi de porte prostrado à *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.** Anais...In: II Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, 2012a.

MENEZES, M.; MACHADO, A.L.M.; SILVEIRA, M.C.V.; SILVA, R.L.X. **Biocontrole de *Macrophomina phaseolina* com espécies de *Trichoderma* aplicadas no tratamento de sementes de feijão e no solo.** vol. 1, 2004. Anais. Recife: Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, 2004. p.133-140.

NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.853-860, 2011.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n.3, p. 437-443, 2001.

NORONHA, M. A.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; GIRÃO FILHO, J. E.; GONÇALVES, S. R.; SILVA, K. J. D. Reação de genótipos de feijão-caupi a *Macrophomina phaseolina*. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, p. 248, 2009.

REDDY, A. R.; CHAITANYA, K.; V, VIVEKANANDAN, M. Droughtin duced Responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v.161 p.1189–1202, 2004.

CAPÍTULO I

METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO DE CULTIVARES DE FEIJÃO EM FUNÇÃO DA INOCULAÇÃO DE *Macrophomina phaseolina* E DISPONIBILIDADES HÍDRICAS

RESUMO

A cultura do feijão apresenta elevada relevância para a agricultura nacional, entretanto fatores ambientais negativos acometem sua produtividade como a deficiência hídrica e desenvolvimento de doenças fúngicas. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o metabolismo fotossintético e características fisiológicas envolvidas nas respostas de três cultivares de feijão BRS Guariba, Tumucumaque e Esteio, submetidas a suspensão da irrigação 27 dias após a semeadura e inoculadas com *Macrophomina phaseolina* em casa de vegetação. O trabalho foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x3, sendo quatro tratamentos [Testemunha (Test), Déficit Hídrico (DH), Inoculação (Inoc) e Inoculação com Déficit hídrico (Inoc+DH)] e três períodos de avaliação [Início, Suspensão da Irrigação (SI) e Florescimento (Flor) com quatro repetições. Foram avaliadas as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a*, o conteúdo relativo de água nas folhas (CRA%) e índice Spad de clorofila. A inoculação do patógeno intensificou a condição de estresse por déficit hídrico nas plantas, devido a maior debilidade provocada pelas lesões radiculares causadas pela infecção. A cultivar Guariba demonstrou maior tolerância a condição de déficit hídrico por apresentar recuperação no período florescimento, porém maior sensibilidade sob inoculação. A cultivar Tumucumaque dentre as três cultivares avaliadas apresentou tolerância intermediária aos parâmetros avaliados, enquanto que na Esteio foi verificada maior sensibilidade a condição de déficit hídrico, principalmente, sob inoculação do patógeno, por não apresentar recuperação para parâmetros avaliados como as trocas gasosas e o índice Spad de clorofila.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., *Vigna unguiculata* (L.) Walp., Trocas gasosas.

ABSTRACT

The bean crop is highly relevant to the national agriculture, however negative environmental factors affect its productivity, such as water deficiency and the development of fungal diseases. This study aimed to evaluate the photosynthetic metabolism and physiological characteristics involved in the responses of three bean cultivars (BRS Guariba, Tumucumaque and Esteio), submitted to irrigation suspension 27 days after sowing and inoculated with *Macrophomina phaseolina* in a greenhouse. The work was carried out in a completely randomized design, in a 4x3 factorial scheme, with four treatments [Control (Contr), Water Deficit (WD), Inoculation (Inoc) and Inoculation with Water Deficit (Inoc+WD)], and three evaluation periods [Beginning, Suspension of Irrigation (SI) and Flowering (Flower), with four replications. Gas exchange, chlorophyll *a* fluorescence, relative leaf water content (RWC%) and chlorophyll spad index were evaluated. The pathogen inoculation intensified the stress condition related to water deficit in the plants, due to the weakness of the roots lesioned by the infection. The cultivar Guariba showed greater tolerance to the water deficit condition, since it recovered during the flowering period, but with greater sensitivity under inoculation. Tumucumaque, among the three evaluated cultivars, showed intermediate tolerance to the evaluated parameters, while Esteio presented higher sensitivity to the condition of water deficit, mainly under pathogen inoculation, once it

did not show recovery for parameters such as gas exchange and the spad index chlorophyll.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., *Vigna unguiculata* (L.) Walp., Gas exchange.

INTRODUÇÃO

A cultura do feijoeiro ocupa lugar de destaque na agricultura nacional, sendo o Brasil o maior produtor mundial, com média anual de 3,3 milhões de toneladas de grãos produzidos (IBGE, 2018). As espécies com maior exploração econômica são *Phaseolus vulgaris* e *Vigna unguiculata*, popularmente conhecidos como feijão-comum e feijão-caupi, ambos possuem ciclo curto e devido as condições climáticas favoráveis, podem ser cultivados em três safras no mesmo ano agrícola. Além disso, possuem alto valor nutricional, contendo fibras, carboidratos complexos, polifenóis e vitaminas do complexo B (SILVA et al., 2009), caracterizando-se como um alimento de alta qualidade.

Entretanto, a cultura do feijoeiro pode ser afetada por diferentes tipos de estresse tanto abiótico como bióticos, podemos elencar como os mais importantes o déficit hídrico e a incidência de doenças, principalmente, as fúngicas que se destacam pela grande área de ocorrência e pela redução na produtividade (BIANCHINI et al., 2005; MUÑOZ-PEREA et al., 2006).

As respostas mais comuns das plantas ao déficit hídrico são a redução das trocas gasosas e abertura estomática, e posteriormente reduções na taxa fotossintética, transpiração, e disponibilidade de CO₂ diminuindo a produção de fotoassimilados e consequentemente alterando o ciclo produtivo (PAIVA et al., 2005; SANTOS et al., 2009; PINCELLI, 2010).

Além de estresses abióticos as doenças estão entre os fatores mais limitantes à produção, sendo responsáveis por perdas qualitativas e quantitativas. Uma das principais enfermidades que acometem a cultura do feijoeiro é a podridão de carvão, causada pelo fungo *Macrophomina phaseolina*, um dos principais patógenos da cultura, causando morte de sementes e plântulas, cancro e lesões cinzentas no caule, sobretudo em condições de alta temperatura e deficiência hídrica (PEDROSO, 2012; MAYEK-PÉREZ et al., 2002). O fungo *M. phaseolina* é um habitante natural do solo, que infecta as raízes quando estas passam por um período de estiagem e é seguida de períodos chuvosos. As raízes debilitadas ou mortas durante a estiagem servem de substrato para o fungo que entra em atividade durante o período seguinte de umidade (ALMEIDA et al., 2005). O patógeno sobrevive em sementes e no solo pela formação de estruturas de

resistência, denominadas microesclerócios, os quais podem sobreviver no solo ou em restos culturais por 2 a 15 anos (SHORT; WYLLIE; AMMON, 1978).

Diante do exposto, objetivou-se com esse trabalho avaliar as trocas gasosas e a eficiência do aparato fotossintético de cultivares de feijão submetidas a déficit hídrico e inoculação de *Macrophomina phaseolina* como também o potencial de recuperação de seu status fisiológico após a suspensão da condição estressante.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados – MS, situada a 22°11'43,7"S e 54°56'08.5"W e altitude de 430 m. O clima da região, é do tipo Am (ALVARES et al., 2013).

O experimento foi instalado no dia 15 de fevereiro de 2018 e finalizado no dia 16 de abril do mesmo ano, totalizando 59 dias. Foram utilizadas duas cultivares de feijão-caupi: BRS Guariba e BRS Tumucumaque e uma cultivar de feijão-comum: BRS Esteio. As cultivares de feijão-caupi foram escolhidas pela importância econômica para o agronegócio brasileiro, sendo as principais cultivares produzidas para exportação, e possuem uma elevada aceitação comercial pelo mercado externo, principalmente a BRS Tumucumaque. A BRS Guariba destaca-se por ser moderadamente tolerante à seca e a altas temperaturas, a BRS Tumucumaque pela qualidade nutricional. Enquanto a cultivar de feijão-comum BRS Esteio, destaca-se pelo potencial produtivo e preferência do mercado externo ao grão preto.

O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, onde a calagem e a adubação foram realizadas 15 dias antes do plantio de acordo com a interpretação da análise química de solo e a necessidade da cultura segundo Raij (1996).

Durante o período experimental foi realizado controle químico para míldio utilizando o fungicida Dithiobin® 780 WP (Mancozeb+Tiofanato Metílico) e para pulgão o inseticida Gaucho® FS-0 (Imidacloprid).

Preparo do inóculo

O isolado de *M. phaseolina* foi obtido no laboratório de Microbiologia Agrícola e Fitopatologia da UFGD. Os isolados foram cultivados em meio batata-dextrose-ágar (BDA), incubados a $26 \pm 2^\circ\text{C}$, com fotoperíodo de 12h. A inoculação do patógeno foi realizado pelo método do grão de arroz sem casca, conforme metodologia

adaptada de Songa et al. (1997). Este método consistiu na embebição de 300 g arroz sem casca por 12h em erlenmeyers de 500 mL, posteriormente esterilizados por autoclavagem durante 20 minutos a 120°C. Após o resfriamento, foram adicionados, em cada frasco, cinco discos de meio de cultura BDA de 5 mm de diâmetro, colonizado com *M. phaseolina*, com sete dias de idade. Em seguida, os erlenmeyers foram incubados durante 15 dias sob temperatura de $26 \pm 2^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12h, até a completa colonização dos grãos. Para garantir uma colonização homogênea, a partir do terceiro dia após deposição dos discos de micélio, os frascos foram agitados manualmente a cada dia.

Semeadura e inoculação do patógeno

As sementes das cultivares de feijão utilizadas foram desinfestadas em solução NaClO 1,5% por um minuto, lavadas em água destilada e secadas em papel toalha, conforme protocolo adaptado de Brasil (2009).

A semeadura foi realizada em vaso contendo 4,5 kg de substrato constituído pela mistura Latossolo Vermelho distroférico + areia (2:1 v/v), sendo semeadas quatro sementes em cada vaso, após a emergência, duas plantas foram mantidas por vaso.

A inoculação foi realizada na semeadura e constou na deposição direta em cada cova de cinco grãos de arroz colonizados pelo fungo. Os controles de cada tratamento consistiram na deposição de grãos de arroz autoclavados e não colonizados pelo fungo, em cada cova de plantio.

Tratamentos

Para cada cultivar o experimento foi conduzido utilizando quatro tratamentos:

- Testemunha (Test) sem inoculação e com irrigação contínua, sendo as plantas mantidas com a capacidade de campo de 70% por todo período experimental.

- Déficit Hídrico (DH) sem inoculação e com suspensão da irrigação aos 27 dias após a semeadura até que a fotossíntese de pelo menos uma das cultivares se aproximasse de zero, o que ocorreu cinco dias após a suspensão da irrigação de pelo menos uma das cultivares, posteriormente, as plantas foram reirrigadas.

- Inoculação (Inoc) conduzido com inoculação e irrigação contínua e mantidas com a capacidade de campo de 70% por todo período experimental.

- Inoculação com Déficit hídrico (Inoc+DH) conduzido com inoculação seguida de suspensão da irrigação aos 27 dias após a semeadura até que a fotossíntese de pelo menos uma das cultivares se aproximasse de zero, o que ocorreu cinco dias após a

suspensão da irrigação de pelo menos uma das cultivares, posteriormente, as plantas foram reirrigadas.

Períodos de avaliação

As avaliações foram realizadas em três períodos. O primeiro período caracterizado como Início ocorreu aos 27 dias após a semeadura, antes da suspensão da irrigação, no estágio fenológico V3. O segundo período caracterizado como Suspensão da Irrigação (SI) ocorreu após a imposição do déficit hídrico dos tratamentos estressados quando a fotossíntese das plantas alcançou valores próximos a zero, no estágio fenológico V4. O terceiro período caracterizado como Florescimento (Flor) ocorreu quando surgiu os primeiros botões florais de cada cultivar, no estágio fenológico V5.

Parâmetros avaliados

As trocas gasosas taxa fotossintética (A), transpiração foliar (E), condutância estomática (gs) e concentração interna de CO₂ (C_i), foi utilizado um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCI PRO. As avaliações foram realizadas dentro da casa de vegetação no período da manhã, entre 8h e 11h, sendo considerados apenas os dados medidos sob fluxo fotossintético de fótons (FFF) maior que 700 mmol m⁻² s⁻¹. A partir dos dados de trocas gasosas foram calculadas as seguintes relações: eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso de água (EIUA) e eficiência de carboxilação da rubisco (A/C_i).

O Índice de clorofila (Soil Plant Analysis Development)) foi mensurado com auxílio um medidor portátil de clorofila, Konica Minolta, modelo SPAD-502, sendo as leituras realizadas no folíolo central.

A fluorescência da clorofila *a* foi obtida por meio de fluorômetro portátil modelo OS-30p (Opti Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA), sendo anotadas as medidas de fluorescência inicial (F₀); Fluorescência máxima (F_M) e a eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_V/F_M). A partir dos dados de fluorescência foi calculado a fluorescência variável (F_V=F_M-F₀).

A leitura da fluorescência foi realizada entre 8h e 11h da manhã, nas mesmas folhas utilizadas para as avaliações das trocas gasosas, estas foram submetidas a um período de 30 minutos de adaptação ao escuro com o auxílio de cliques adaptadores, para que todos os centros de reação nessa região foliar sofressem oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons.

O conteúdo relativo de água nas folhas (CRA) foi determinado a cada período de avaliação, em quatro folhas de cada tratamento, segundo a expressão matemática:

$$\text{CRA (\%)} = 100 \frac{(\text{Massa Fresca} - \text{Massa Seca})}{(\text{Massa Saturada} - \text{Massa Seca})}$$

As folhas foram coletadas às 7h da manhã e no laboratório foram submetidas ao corte em discos de área conhecida. Após pesagem da massa fresca, foram colocadas em placas de petri com água destilada por 24h para saturação. Após pesagem dos discos saturados eles foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72h para determinação da massa seca.

Delineamento experimental e análise dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x3, sendo quatro tratamentos e três períodos de avaliação com quatro repetições. Para análise dos resultados foi utilizado o programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2010), os dados foram submetidos à análise de variância e os efeitos significativos para as médias de cada tratamento e períodos de avaliação foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS

Houve interação significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos e os períodos de avaliação para taxa fotossintética (A), transpiração (E), condutância estomática (Gs), eficiência instantânea do uso da água (EUA), eficiência intrínseca do uso de água (EIUA), eficiência instantânea de carboxilação da rubisco (A/Ci), conteúdo relativo de água (CRA) e índice de clorofila (Spad) para as três cultivares de feijão. Para a eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_M), e fluorescência inicial (F_0) foi observada interação entre os fatores apenas para as cultivares Tumucumaque e Esteio, e isolado do tem efeito isolado ($p > 0,05$) para a cultivar Guariba. Para a concentração interna de CO_2 (Ci) foi observada interação significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$) apenas para cultivar Guariba e efeito isolado do tempo ($p > 0,05$) para as cultivares Tumucumaque e Esteio.

A taxa fotossintética (A) para cultivar Guariba foi reduzida apenas no tratamento com associação (Inoc+DH) no período suspensão da irrigação (SI), após a reirrigação foi observada recuperação do parâmetro no florescimento da cultivar (Figura 1). Para as cultivares Tumucumaque observa-se redução da taxa fotossintética nos tratamentos DH, Inoc+DH e para Esteio nos tratamentos DH, Inoc e Inoc+DH quando a

taxa fotossintética se aproximou de zero (SI). O aumento da taxa se igualando a testemunha foi observado no florescimento apenas para a cultivar Tumucumaque, enquanto que a cultivar Esteio não se recuperou.

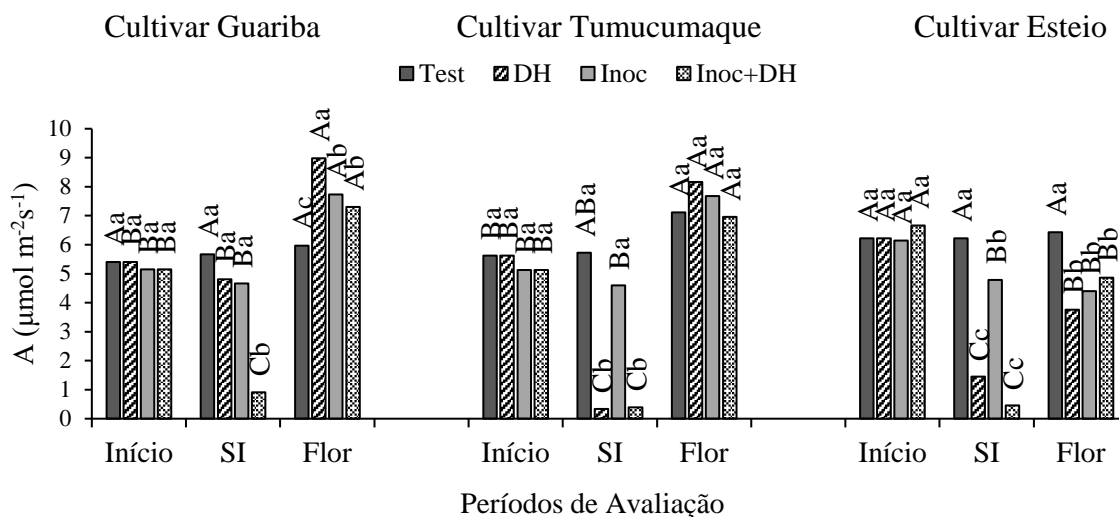


FIGURA 1. Fotossíntese líquida – A em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).

A transpiração (E) foi menor para os tratamentos com suspensão da irrigação (DH e Inoc+DH) em todas as cultivares (Figura 2A).

Para eficiência do uso da água (EUA), as cultivares Tumucumaque e Esteio apresentaram redução de 48% e 25 % respectivamente, em comparação a cultivar Guariba no tratamento Inoc+DH no período de suspensão da irrigação (SI) (Figura 2B). A EUA apresentou os maiores valores nos tratamentos testemunhas no período florescimento.

Os menores valores para concentração interna de CO_2 e condutância estomática (G_s) foram observadas nos tratamentos DH e Inoc+DH no período de suspensão da irrigação (SI) e no tratamento testemunha da cultivar Guariba no florescimento (Figura 3 e 4B). Para as cultivares Tumucumaque e Esteio a C_i teve um comportamento semelhante com redução da concentração no florescimento (Figura 3).

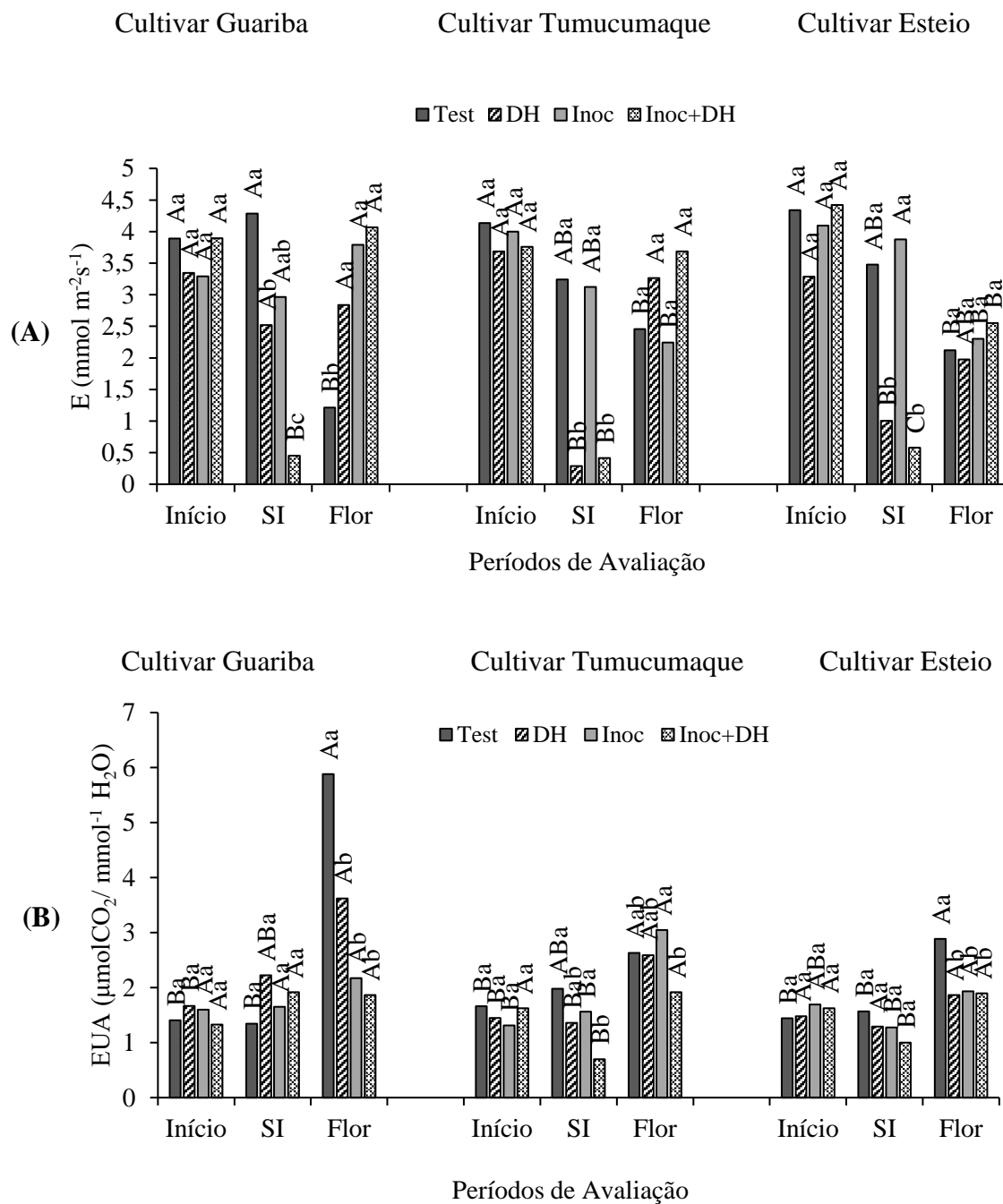


FIGURA 2. Transpiração – E (A); Eficiência do uso da água – EUA (B) em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).

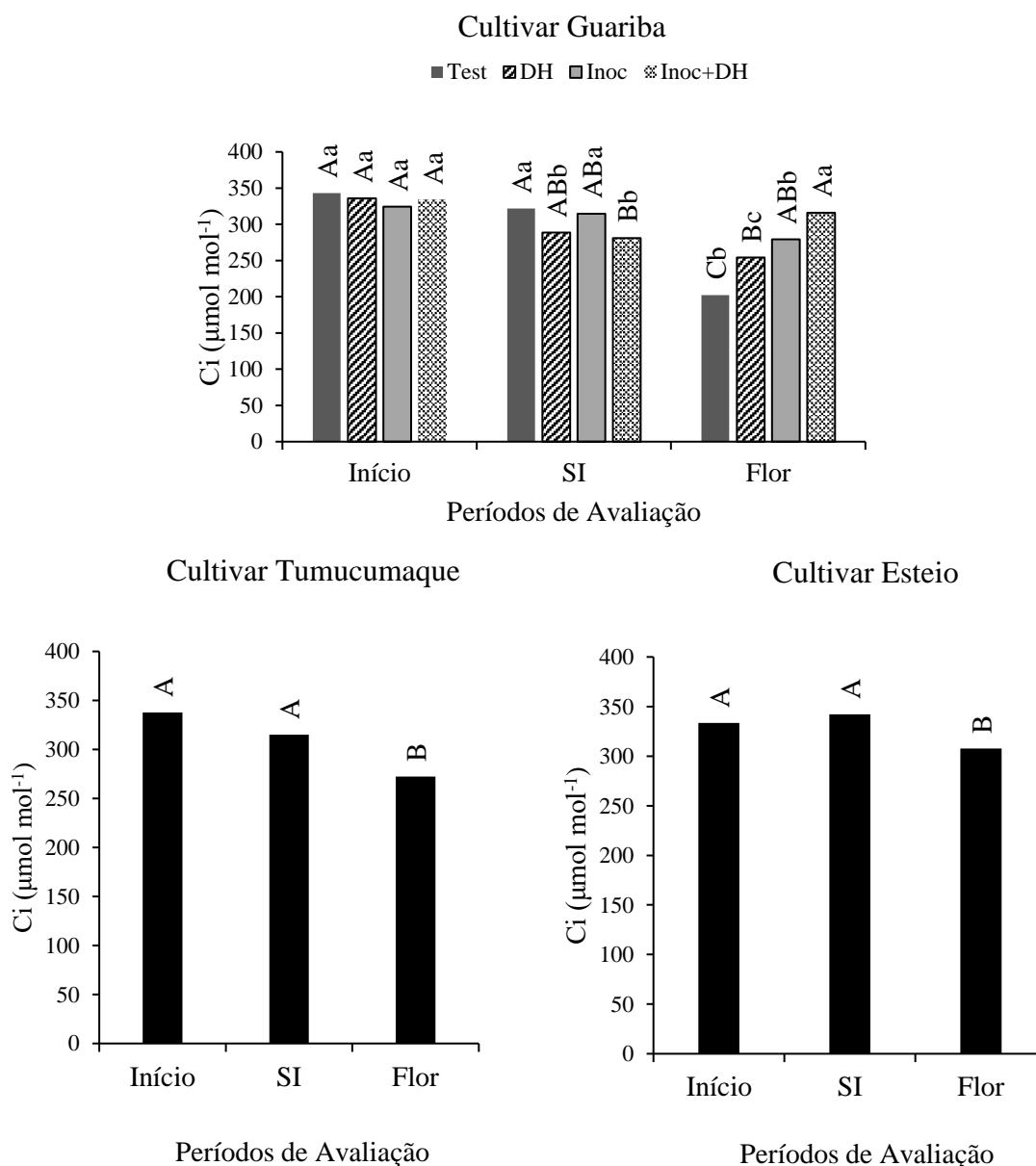


FIGURA 3. Concentração interna de CO₂ – Ci em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).

A eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) demonstrou comportamento semelhante ao da fotossíntese com redução nos tratamentos DH e Inoc+DH no período de suspensão da irrigação para as cultivares Tumucumaque e Esteio. Para Guariba a menor eficiência foi observada apenas no tratamento Inoc+DH no mesmo período (Figura 4A).

Quanto a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA), as maiores eficiências observadas no período suspensão da irrigação foram nos tratamentos DH e Inoc+DH nas cultivares Esteio e Guariba respectivamente, enquanto que para Tumucumaque não houve diferença significativa no mesmo período. Como para EUA, as testemunhas se destacaram por maior EIUA no florescimento das cultivares, exceto para cultivar Tumucumaque (Figura 5).

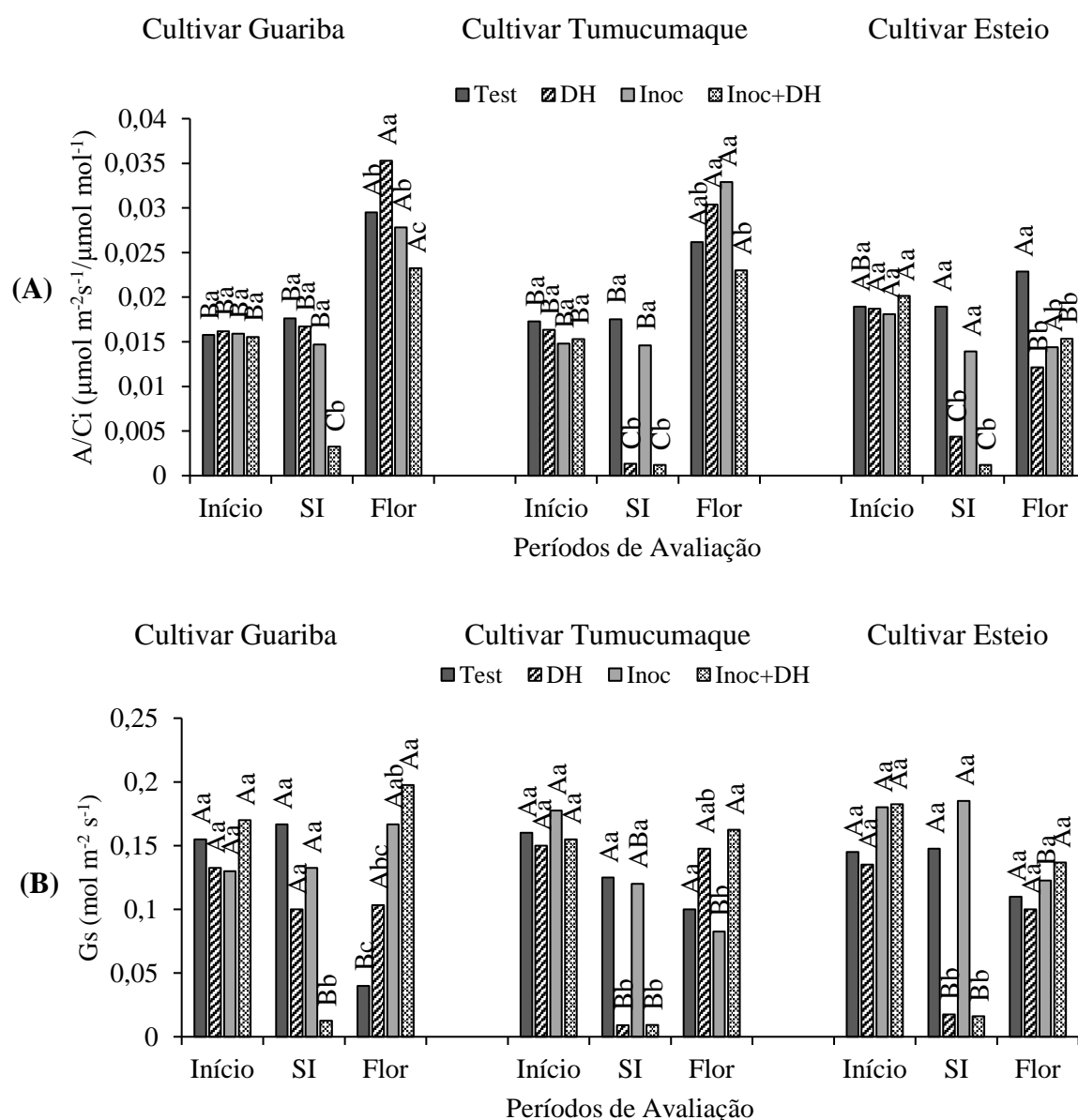


FIGURA 4. Eficiência da carboxilação da rubisco – A/Ci (A); condutância estomática – Gs (B) em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).

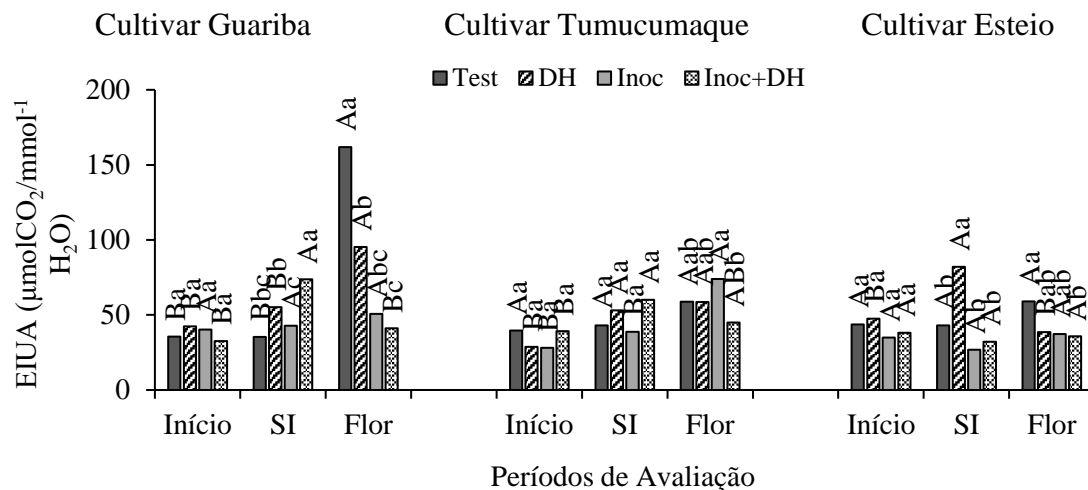


FIGURA 5. Eficiência intrínseca do uso da água - EIUA em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).

O índice SPAD manteve-se crescente ao longo das avaliações para cultivares Guariba e Tumucumaque, enquanto que para cultivar Esteio pode-se observar um decréscimo do índice a partir da suspensão da irrigação (SI) e no florescimento para as cultivares Guariba e Tumucumaque nos tratamentos Inoc e Inoc+DH (Figura 6).

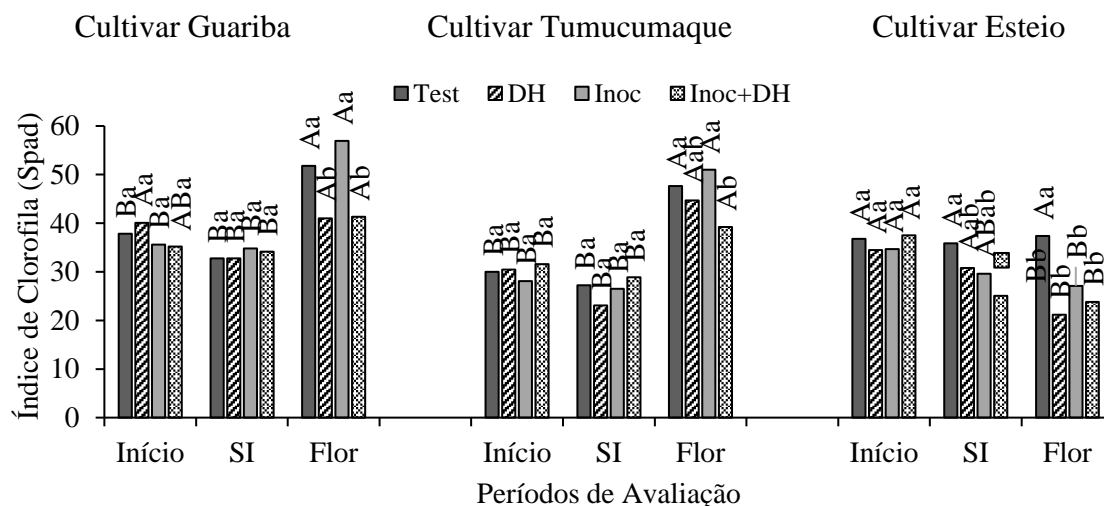


FIGURA 6. Índice de Clorofila (Spad) em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).

Para o conteúdo relativo de água (CRA%) observa-se redução nos tratamentos estressados (DH e Inoc+DH) em todas as cultivares avaliadas, e recuperação do parâmetro para as cultivares Tumucumaque e Esteio. Ressalta-se que para a Guariba os valores tenderam a recuperação, no entanto, apenas o tratamento com associação (Inoc+DH) apresentou recuperação total no florescimento da cultivar (Figura 7).

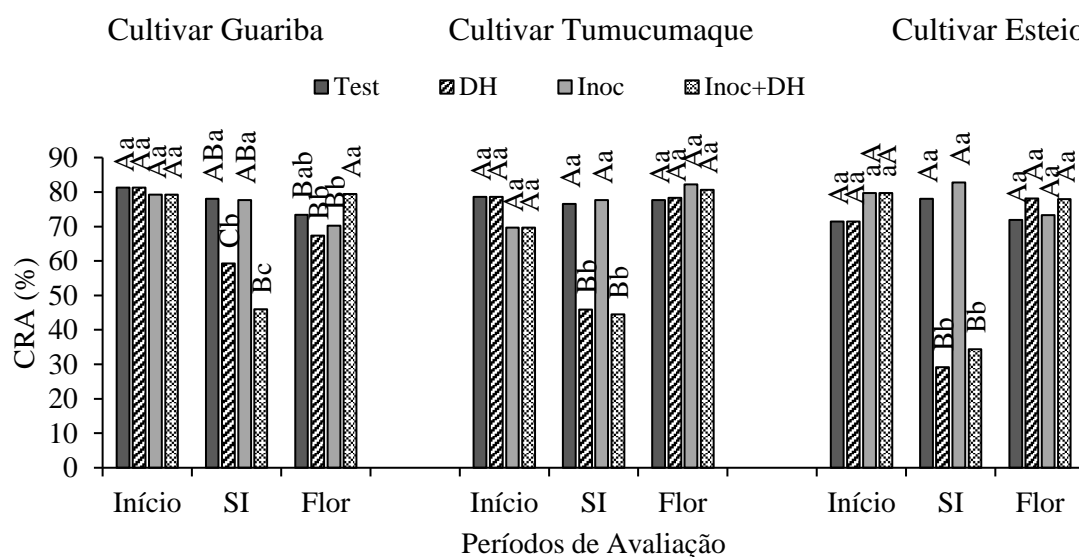


FIGURA 7. Conteúdo Relativo de Água (CRA %) em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).

Com relação a eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m), os menores valores observados foram nos tratamentos DH e Inoc+DH das cultivares Tumucumaque e Esteio no período de suspensão da irrigação, apresentando recuperação desses tratamentos com a reirrigação no período do florescimento. Para cultivar Guariba ocorreu aumento ao longo do período experimental (Figura 8A).

A fluorescência inicial (F_0) não variou em função do inóculo para a cultivar Guariba, entretanto para as demais cultivares (Tumucumaque e Esteio) apresentou valores maiores para os tratamentos com suspensão da irrigação com posterior estabilização no período florescimento (FIGURA 8B).

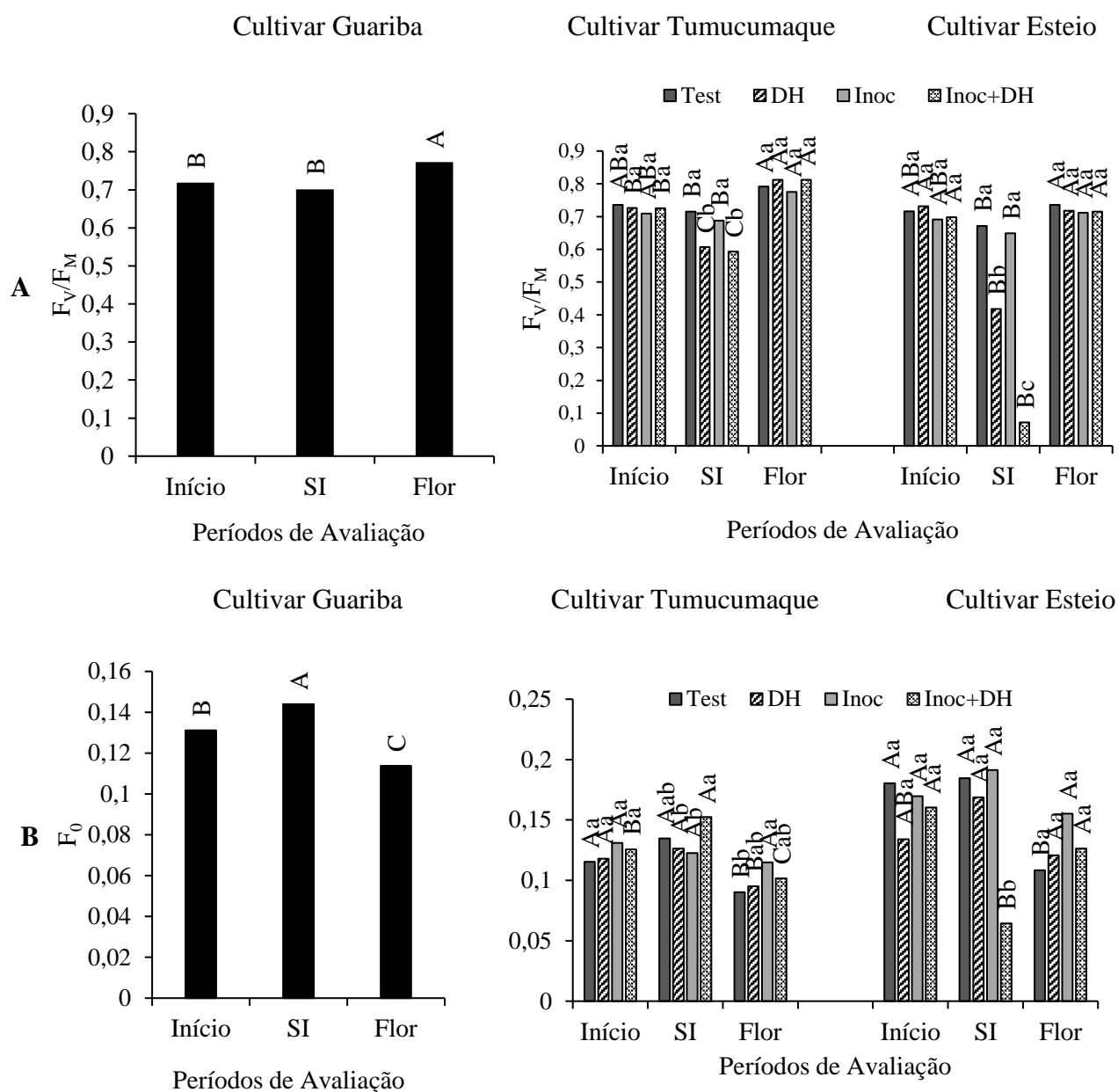


FIGURA 8. Eficiência quântica potencial do fotossistema II – F_v/F_M (A); Fluorescência Inicial F_0 (B) em cultivares de feijão em função dos diferentes tratamentos (Test = Testemunha; DH = Déficit Hídrico; Inoc = Inoculação com *M. phaseolina*; Inoc+DH = Associação da inoculação de *M. phaseolina* com Déficit Hídrico) e dos períodos de avaliação (Início; SI = Suspensão da Irrigação; Flor = Florescimento). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento nos diferentes períodos de avaliação (Tukey, $p < 0,05$); letras minúsculas comparam os tratamentos dentro do mesmo período de avaliação (Tukey, $p < 0,05$).

DISCUSSÃO

O déficit hídrico, de forma geral, reduziu os valores das trocas gasosas em todas as cultivares de feijão. Os efeitos do estresse foram agravados com a inoculação de *Macrophomina phaseolina* demonstrando que o patógeno intensifica a condição estressante por promover maior debilidade as plantas. Ressalta-se que a redução das

trocas gasosas desse estudo foi observada com apenas cinco dias após a suspensão da irrigação.

Para todas as cultivares de feijão avaliadas neste estudo, as reduções das taxas fotossintéticas se mostraram mais intensas quanto maior foi a redução da quantidade de água disponível no solo, resultados que corroboram outros trabalhos utilizando diferentes cultivares de feijão (SANTOS et al., 2009; FRANÇOIS, 2012).

A redução da taxa fotossintética da cultivar Guariba no tratamento com associação da Inoc+DH pode ser atribuída a redução da condutância estomática, concentração interna de gás carbônico e transpiração, parâmetros imprescindíveis a manutenção da fotossíntese. A diminuição da condutância estomática não permite a entrada de CO₂ suficiente para alimentar o processo fotossintético e dificulta a saída de água pelos estômatos (FERREIRA, 2017), isso é evidenciado pela baixa eficiência de carboxilação da rubisco, apresentada nesse estudo, que confirma a deficiência de CO₂ no mesófilo foliar decorrente da redução da abertura estomática no período suspensão da irrigação.

Após a reirrigação, houve tendência de recuperação da taxa fotossintética da cultivar Guariba, porém os valores não alcançaram a testemunha, o que pode-se atribuir ao fato de que no período florescimento a cultivar apresentou menor índice Spad de clorofila. A clorofila é o pigmento responsável pelo processo fotossintético, reduções nesse índice pode afetar diretamente a produção de fotoassimilados.

Esses resultados corroboram com Silva et al. (2010), que avaliaram as trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica e concluíram que plantas que sofreram suspensão da irrigação apresentaram reduções nos níveis da taxa fotossintética, além de redução na condutância estomática e transpiração, como também observado nesse estudo.

De maneira semelhante, Trujillo et al. (2013) trabalhando com duas cultivares e três níveis de irrigação, observaram redução na condutância estomática das plantas de feijão submetidos a baixos teores de água no solo para ambas as cultivares e após a reidratação as duas variedades apresentaram recuperação do parâmetro avaliado. Para essa cultivar podemos observar uma tendência em tolerar a deficiência hídrica com menores danos aos parâmetros fisiológicos, diferente dos resultados obtidos da associação da inoculação com *M. phaseolina* e deficiência hídrica que promoveram maiores reduções nas variáveis avaliadas.

Os resultados apresentados pela Tumucumaque para taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática, de forma geral, se assemelharam aos da Guariba, diferindo apenas ao fato dessa cultivar também apresentar sensibilidade ao tratamento DH na suspensão da irrigação, e posteriormente exibir recuperação após a reirrigação no florescimento para os três parâmetros avaliados. Como já mencionado anteriormente, a redução desses parâmetros na condição de déficit hídrico pode ser explicada pela restrição da abertura estomática que restringe as trocas gasosas no mesófilo foliar, outra explicação é a possível inibição direta das enzimas que atuam no processo fotossintético, principalmente a Rubisco ou ATP-sintase, que pode ser verificado nesse trabalho pela redução da eficiência da carboxilação da rubisco.

Danos ao aparato fotossintético também, foram evidenciados pela menor eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_V/F_M) e redução do índice Spad de clorofila no período de supressão da irrigação. Essas modificações alteram todo o metabolismo fotossintético da planta. Resultados semelhantes foram observados por Santos et al. (2009), que avaliaram cinco cultivares de feijão com suspensão da irrigação 34 dias após a emergência de plantas.

Os autores observaram reduções na taxa fotossintética e condutância estomática para todas as cultivares, com posterior restauração dos parâmetros após reidratação. Mayek-Pérez et al. (2002), ao avaliarem as relações fisiológicas de *Phaseolus vulgaris* inoculado com *M. phaseolina* sob déficit hídrico com suspensão da irrigação 20 dias após a semeadura observaram decréscimo das taxas de transpiração e condutância estomática em relação ao tratamento testemunha. Este tipo de resposta pode estar associado ao aumento na concentração de ácido abscísico nos tecidos foliares, hormônio vegetal cuja síntese é aumentada em condições de déficit hídrico e é responsável pelo fechamento estomático e, conseqüentemente, a diminuição da perda de água por transpiração para o meio (TAIZ et al., 2017). Os autores ressaltam que os efeitos do estresse foram aumentados pela inoculação de *M. phaseolina*.

Dentre as cultivares avaliadas e mediante aos resultados apresentados a cultivar Esteio tem se mostrado como mais sensível a condição estressante (suspensão da irrigação), por não apresentar recuperação para parâmetros fisiológicos importantes como a fotossíntese, índice Spad de clorofila e eficiência de carboxilação da rubisco avaliados no florescimento da cultivar.

Resultados que foram observados por Alves (2014) que avaliando os aspectos fisiológicos e produtivos de diferentes cultivares de feijão irrigado com três

níveis de disponibilidade hídrica, observou a não recuperação das atividades fotossintéticas de uma das cultivares avaliadas. Essa maior sensibilidade pode ser atribuída ao fato de que a espécie *P. vulgaris* é mais exigente quanto a demanda hídrica e mais susceptível a contaminação por *M. phaseolina* (MAYEK-PÉREZ et al., 2002). As reduções das trocas gasosas foram causadas pelos mesmos fatores das outras cultivares. Neelam et al. (1994) também observaram reduções significativas nas trocas gasosas de *Vigna aconitifolia* inoculado com *M. phaseolina*.

A não recuperação dos fatores mencionados pode ser remetido ao fato de que a planta não conseguiu reestruturar seu aparato fotossintético, a ponto de normalizar o metabolismo e o déficit hídrico reduziu o teor de clorofila sendo essa variável intimamente ligada ao processo fotossintético. Com a redução da taxa fotossintética, as eficiências (EUA, A/Ci e EIUA) acabam reduzindo e demonstrando a menor tolerância da cultivar ao déficit hídrico e ao patógeno de solo *M. phaseolina*.

A alta concentração interna de CO₂ para a cultivar Guariba no período de suspensão da irrigação para os tratamentos com déficit hídrico induzido, pode ser explicado pela queda da fotossíntese, por conta do fechamento estomático e aos fatores da etapa fotoquímica da mesma, podendo provocar acúmulo de CO₂ no mesofilo foliar (HERRERA et al., 2008; CHEN et al., 2010). A concentração interna de CO₂ para as cultivares Tumucumaque e Esteio foi menor no período de florescimento das plantas, devido ao maior desenvolvimento e demanda fotossintética da cultura exigindo maior assimilação de CO₂ no mesofilo foliar para síntese de fotoassimilados.

A redução da eficiência instantânea do uso da água nesse experimento, foi diretamente proporcional as reduções nas taxas fotossintéticas e transpiratória e não por alterações em um dos parâmetros isoladamente.

A cultivar Tumucumaque apresentou tendência a recuperação, porém a Guariba e Esteio não conseguiram se recuperar a ponto dos valores se aproximarem da testemunha no florescimento de cada cultivar. Altos valores de EUA indicam maior plasticidade fisiológica das espécies diante das adversidades bióticas e abióticas as quais são expostas (LI et al., 2008; SILVA et al., 2008) e os maiores valores em comparação entre tratamentos, sugerem menor redução da taxa fotossintética em relação a taxa transpiratória, isto é, manutenção de maior taxa fotossintética, o que favorece a maior produtividade.

A eficiência na carboxilação da Rubisco (A/Ci) do tratamento DH e Inoc+DH, apresentou valores mínimos e estatisticamente diferentes dos demais

tratamentos, indicando que o déficit hídrico comprometeu a atividade desta relação. Entretanto, com o aporte de água, este parâmetro superou os valores alcançados com a suspensão da irrigação, mas não alcançaram a recuperação total do parâmetro. Esta situação comprova que valores muito baixos desta relação decorrem dos danos ao aparato fotossintético (FLEXAS et al., 2006; XU et al., 2009). Quando associada esta informação com a eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) dos mesmos tratamentos, evidencia-se que houve dano fotoinibitório aos centros de reação do fotossistema II no período suspensão da irrigação para as cultivares Tumucumaque e Esteio.

Quando os centros de reação do fotossistema II estão intactos, os valores de referência para a eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) variam de 0,75 a 0,85 (BAKER e ROSENQVST, 2004) e, valores muito abaixo desta margem, tal como o observado nos tratamentos estressados Déficit Hídrico (DH), e Inoculação associado com Déficit Hídrico (Inoc+DH) no período de suspensão da irrigação, indicam que os baixos valores de fotossíntese também estão relacionados aos danos causados no aparato fotossintético e não apenas ligados a condutância estomática e, conseqüentemente, a concentração interna de CO_2 .

O aumento da eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) da cultivar Guariba no período florescimento sugere maior demanda por fotoassimilados e, conseqüentemente, os centros de reação de fotossistema II estavam mais ativos.

A EIUA apresentou maiores valores para os tratamentos estressados DH e Inoc+DH, no período de déficit hídrico para as cultivares Guariba e Tumucumaque. Na cultivar Esteio essa relação foi menor no tratamento com associação (Inoc+DH) e não variou entre os períodos, entretanto, as cultivares Guariba e Tumucumaque aumentaram significativamente nesse mesmo tratamento no período SI, reforçando a ideia de que essas cultivares são mais tolerantes a condição estressante do que a Esteio. Essa eficiência relaciona fotossíntese e condutância estomática, e quanto maior for, significa que a taxa fotossintética apresenta menor redução proporcionalmente à condutância estomática, podendo então sugerir que a produção de fotoassimilados ainda ocorre ou é menos comprometida mesmo com a redução da condutância estomática. Essa manutenção da fotossíntese mesmo em situação estressante pode ser uma resposta de resistência ou tolerância ao estresse, o que pode ser observada neste trabalho nas cultivares Guariba e Tumucumaque.

Quanto ao conteúdo relativo de água (CRA%), observou-se significativa redução nos tratamentos com imposição ao déficit hídrico e inoculação por *M. phaseolina*

(DH e Inoc+DH) para todas as cultivares, com posterior recuperação do parâmetro. A redução da transpiração e condutância estomática observada para todas as cultivares são parâmetros que favorecem a conservação da água no mesófilo foliar e estão relacionadas ao CRA %. Essas reduções apontam que quando ocorre a imposição de déficit hídrico, sinalizações hormonais, principalmente, pelo ácido abscísico são desencadeadas e diminuem a abertura estomática reduzindo a perda de água para o meio.

Segundo Lawn e Likoswe (2008), a estratégia de tolerância permite as plantas manter a atividade metabólica com o déficit hídrico e declínio do conteúdo relativo de água. Plantas que apresentam essa estratégia de tolerância possuem tecidos que podem tolerar a desidratação até certo ponto, e demonstram melhor capacidade de ajuste osmótico. Essa resposta favorece a absorção de água e manutenção do metabolismo fotossintético e a produção de fotoassimilados. Comportamentos semelhantes foram observados por Fioreze et al. (2011), que estudando o desempenho de genótipos de soja submetidos a deficiência hídrica em casa de vegetação, verificaram redução do CRA (%), em comparação ao tratamento mantido sob irrigação para todos os genótipos estudados. Felisberto (2015) estudando a caracterização morfológica e fisiológica de plantas de soja submetidas ao déficit hídrico, verificou queda significativa do CRA em relação ao controle.

Os valores altos de fluorescência inicial (F_0) apresentados nos tratamentos com SI confirmam a danificação do aparato fotossintético das cultivares avaliadas. A F_0 representa a emissão de luz pelas moléculas de clorofilas *a* excitadas, antes da energia ser dissipada para o centro de reação do PSII, a partir deste valor podemos mensurar as alterações na capacidade fotossintética das plantas em decorrência ao estresse causado por déficit hídrico.

A F_0 geralmente aumenta caso os centros de reação do PSII estejam comprometidos, ou se a transferência da energia de excitação da antena para os centros de reação esteja prejudicada (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989), resultados que foram observados neste trabalho nos tratamentos com imposição do déficit hídrico. A F_0 está diretamente ligada a eficiência quântica potencial do fotossistema II – F_v/F_m que nesse caso, apresenta redução quando o aparato fotossintético apresenta danos. Valores muito abaixo da margem sugerida pela literatura (BAKER e ROSENQVST, 2004), tal como o observado nos tratamentos com SI de todas as cultivares exceto a Guariba indicam que os baixos valores de fotossíntese também estão relacionados aos danos causados no

aparato fotossintético e não apenas ligados a condutância estomática e, conseqüentemente, a baixa concentração interna de CO₂.

O conteúdo relativo de água foi reduzido devido ao déficit hídrico e inoculação por *M. phaseolina* (Inoc+DH) para todas as cultivares avaliadas nesse estudo (Guariba, Tumucumaque e Esteio) atingindo valores médios de 60%, 45% e 29%, respectivamente. Esses resultados mostram a capacidade da cultivar Guariba em manter o maior conteúdo de água nas folhas o que certamente favorece a manutenção do equilíbrio e metabolismo fotossintético sob condição a estressante.

Entretanto, embora todas tenham recuperado os valores de CRA % após a reirrigação, a cultivar Esteio não recuperou a eficiência fotossintética, mantendo a taxa fotossintética, eficiência de carboxilação da Rubisco, e o índice SPAD 49,3%, 62,7% e 26,4% menor que a cultivar Guariba, mesmo com recuperação dos centros de reação do fotossistema II, sendo essa recuperação não suficiente para a normalização do metabolismo fotossintético da cultivar.

Deste modo pode-se sugerir uma maior sensibilidade da cultivar Esteio a condição estressante. A cultivar Tumucumaque foi 57%, 63% e 15,3%, menor que a Guariba nos mesmos parâmetros avaliados, sugerindo que a Tumucumaque estaria em uma classificação intermediária de tolerância ao compararmos as reduções observadas das três cultivares, pois apresentou recuperação dos parâmetros após a reirrigação, ao contrário da Esteio. Mediante aos resultados apresentados, a cultivar Guariba se mostrou mais tolerante a condição estressante imposta neste estudo.

CONCLUSÃO

A cultivar Esteio quando submetida a déficit hídrico na presença de inoculação de *M. phaseolina* apresenta perda na capacidade de recuperação do metabolismo fotossintético.

As cultivares Guariba e Tumucumaque apresentam, de um modo geral, melhor capacidade de recuperação de suas trocas gasosas em função do déficit hídrico e inoculação de *M. phaseolina*, não sendo observadas, nestas condições, alterações e/ou danos significativos que comprometam o metabolismo fotossintético.

O déficit hídrico após 27 dias da semeadura nas cultivares avaliadas, não é capaz de agravar os danos causados por *M. phaseolina*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; YORINORI, J. T.; SILVA, J. F. V.; HENNING, A. A.; GODOY, C. V.; COSTAMILAN, L. M.; MEYER, M. C. Doenças da soja (*Glycine max*). In: KIMATI, H.; AMORIM, J.A.M.; REZENDE, A; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Ed.). **Manual de Fitopatologia**. Doenças das plantas cultivadas. 4. ed. Ceres, 2005. v. 2, p. 569-588.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G., LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, D. S. **Aspectos produtivos de cultivares de feijão irrigado**. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2014.
- BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.
- BIANCHINI, A.; MARINGONI, A. V.; CARNEIRO, S. M. T. P. G. Doenças do feijoeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, J. A. M.; REZENDE, A; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (Ed.). **Manual de Fitopatologia**. Doenças das plantas cultivadas. 4. ed. Ceres, 2005. v.2, p.353-376.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER N. R.; OQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v .3, p. 497-514. 1989.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e abastecimento. SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Manual de análise sanitária de sementes**. Mapa/ACS, 2009.
- CHEN, H.; ZAMORANO, M. F.; IVANOFF, D. Effect of flooding depth on growth, biomass, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of *Typha domingensis*. **Wetlands**, v. 30, n. 1, p. 957-965, 2010.
- FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água do Solo) - Universidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 113 f.2012.
- FELISBERTO, G. **Caracterização de respostas morfológicas e fisiológicas de plantas de soja submetidas a estresse hídrico**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2015.
- FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas** (Statistical Analysis Software) e planejamento de Experimentos – SISVAR 5.3. Lavras: UFLA, 2010.
- FERREIRA, A. C. **Fisiologia e morfologia de plantas de feijão sob deficiência hídrica**. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2017.

FIGEZE, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACGADO, F. R.; GUIMARÃES, V.F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 58, n.3, p. 342-349, 2011.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; BOTA, J.; GALMÉS, J.; HENKLE, M.; MARTÍNEZ-CAÑELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytologist**, v. 172, n.1, p. 73-82, 2006.

HERRERA, A.; TEZARA, W.; MARÍN, O.; RENGIFO, E. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis in trees of a tropical seasonally flooded forest. **Physiologia Plantarum**, v. 134, n. 1, p. 41-48, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores. Indicadores IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola. Maio, 2018. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgri_201805.pdf

LAWN, R. J.; LIKOSWE, A. A. Genotypic differences in leaf area maintenance contribute to differences in recovery from water stress in soybean. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.59, p.1075-1085, 2008.

LI, F.; BAO, W.; WU, N.; YOU, C. Growth, biomass partitioning, and water-use efficiency of a leguminous shrub (*Bauhinia faberi* var. *microphylla*) in response to various water availabilities. **New Forests**, v. 36, n.1, p. 53-65, 2008.

MAYEK, N.; GARCÍA, R.; LÓPEZ, C.; ACOSTA, J. A.; SIMPSON, J. Water relations, histopathology and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) During pathogenesis of *Macrophomina phaseolina* under drought stress. **Physiological and molecular plant pathology**, v. 60, p. 185-195. 2002.

MUÑOZ-PEREA, C. G.; TERÁN, H.; ALLEN, R. G.; WRIGHT, J. L.; WESTERMANN, D. T.; SINGH, S. P. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. **Crop Science**, v. 46, p. 11-19, 2006.

NEELAM-YADAVA, S. G.; RATHORE, G. S.; MAJUMDAR, V. L.; YADAV, V. K.; YADAVA, N. Stomatal response to *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. infection in moth bean (*Vigna aconitifolia*) **Annals of Arid Zone**, v. 33, p. 91-92, 1994.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J.; TURCO, J. E. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.161-169, 2005.

PEDROSO, C. **Incidência, controle de doenças de feijão-vagem e anatomia e histoquímica de *Phaseolus vulgaris* e *Vigna unguiculata* resistentes e suscetíveis ao oídio (*Erysiphe polygoni*)**. 144f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Instituto de

Ciências Biológicas, Departamento de Fitopatologia, Universidade de Brasília, Brasília 2012.

PINCELLI, R.P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. 78p.

RAIJ B. V. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, P. 285.1996.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five common beans genotypes under mild water deficit. **Biologic Plantarum**, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

SILVA, A. G.; ROCHA, L. C.; BRAZACA, S. G. C. Caracterização físico-química, digestibilidade protéica e atividade antioxidante de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 20, n.4, p. 591-598, 2009.

SILVA, C. D. S.; SANTOS, P.A. A.; LIRA, J.M.S.; SANTANA, M.C.; SILVA JÚNIOR, C. D. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010.

SILVA, C. E. M.; GONÇALVES, J. F. C.; FELDPAUSCH, T. R. Water-use efficiency of tree species following calcium and phosphorus application on an abandoned pasture, central Amazonia, Brazil. **Environmental and Experimental Botany**, v. 64, n. 2, p. 189-195, 2008.

SHORT, G.; WYLLIE, T.; AMMON, V. Quantitative Enumeration of *Macrophomina phaseolina* in Soybean Tissues. **Phytopathology**, v. 68, p. 736-741, 1978.

SONGA, W.; HILLOCKS, R. J.; MWANGO'MBE, A. W.; BURUCHARA, R.; RONNO, W. K. Screening common bean accessions for resistance to charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) in eastern Kenya. **Experimental Agriculture**, London, UK, v. 33, p. 459-468, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6.ed. ARTMED, 2017.888 p.

TRUJILLO, I.; RIVAS, M.; CASTRILLO, M. Leaf recovery responses during rehydration after water deficit in two bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Journal of plant interactions**, v. 8, n. 4, p. 360-369, 2013.

XU, Z.; ZHOU, G.; SHIMIZU, H. Are plant growth and photosynthesis limited by predrought following rewatering in grass? **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 13, p. 37-49, 2009.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO E RESPOSTAS PROTETIVAS DE CULTIVARES DE FEIJÃO INOCULADAS COM *Macrophomina phaseolina* E SUBMETIDAS A DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO

Diante da expressividade da cultura do feijão para o agronegócio brasileiro por ser a base da alimentação da população, e dos fatores que podem limitar sua produtividade, principalmente o déficit hídrico e as doenças fúngicas, objetivou-se com esse trabalho avaliar o crescimento, as respostas protetivas e o sinergismo entre o déficit hídrico e a *M. phaseolina* em cultivares de feijão (*Vigna unguiculata* e *Phaseolus vulgaris*) cultivadas sob diferentes condições de irrigação e inoculação por *M. phaseolina*. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x3, sendo dois níveis de inoculação [Inoculado (Inoc) e Não Inoculado (N Inoc)], dois níveis de irrigação [Irrigação Intermitente (II) e Irrigação Contínua (IC)] e três períodos de avaliação [Início, Suspensão da Irrigação (SI) e Florescimento(Flor)] com quatro repetições. Para avaliar o tamanho de lesão, foi utilizado esquema fatorial 2x3, sendo os dois níveis de irrigação [Irrigação Intermitente (II) e Irrigação Contínua (IC)] e os três períodos de avaliação [Início, Suspensão da Irrigação (SI) e Florescimento (Flor)] com o mesmo número de repetições. Durante o período experimental, as cultivares de *Vigna unguiculata* obtiveram maiores valores, e mesmo quando menores apresentaram posterior recuperação, para conteúdo relativo de água, comprimento de raiz, diâmetro do colo, área foliar, número de folíolos, atividade enzimática peroxidase e superóxido dismutase, além de massa seca da parte aérea e raiz, em comparação a cultivar de feijão comum. Os tratamentos apenas com déficit hídrico (N Inoc+II) e inoculação do patógeno associado a déficit hídrico (Inoc+II) são sugestivos de estresse para as condições estudadas e desencadeiam elevada atividade das enzimas antioxidantes (superóxido dismutase e peroxidase) na planta, além de reduzir variáveis de crescimento na cultivar de feijão-comum. As cultivares de *Vigna unguiculata* demonstraram maior tolerância tanto ao déficit hídrico quanto a inoculação.

Palavras-chave: Suspensão da irrigação, Atividade enzimática, Podridão de carvão.

ABSTRACT

In view of the expressiveness of the bean crop for the Brazilian agribusiness, as it is the basis of the population's diet, and of the factors that can limit its productivity, mainly the water deficit and fungal diseases, the objective of this study was to evaluate growth, protective responses and synergism between water deficit and *M. phaseolina* in bean cultivars (*Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris*), cultivated under different conditions of irrigation and *M. phaseolina* inoculation. The experiment was carried out in a completely randomized design in a 2x2x3 factorial scheme, with two levels of inoculation [Inoculated (Inoc) and Non-Inoculated (N Inoc)], two levels of irrigation [Intermittent Irrigation (II) and Continuous Irrigation (CI)] and three evaluation periods [Beginning, Suspension of Irrigation (SI) and Flowering (Flower)] with four replications. To assess the size of the lesion, a 2x3 factorial scheme was adopted, with the two levels of irrigation [Intermittent Irrigation (II) and Continuous Irrigation (CI)] and the three evaluation periods [Beginning, Suspension of Irrigation (SI) and Flowering (Flor)] with the same number of replications. During the experimental period, the cultivars of *Vigna unguiculata* obtained higher values for relative water content, root length, stem diameter,

leaf area, number of leaflets, peroxidase and superoxide dismutase activity, shoot and root dry mass, and even when smaller, they showed later recovery in comparison to the common bean cultivar. Treatments with only water deficit (N Inoc + II) and inoculation of the pathogen associated with water deficit (Inoc + II) suggest stress for the studied conditions and trigger high activity of antioxidant enzymes (superoxide dismutase and peroxidase) in the plant, in addition to reducing growth variables in the common bean cultivar. *Vigna unguiculata* cultivars showed greater tolerance to both water deficit and inoculation.

Keywords: Irrigation suspension, Enzymatic activity, Charcoal rot.

INTRODUÇÃO

O feijão é um produto agrícola de elevada expressão econômica e social, possui alto teor nutricional e é a base da alimentação da população brasileira, além de desempenhar papel fundamental na composição da produção agrícola nacional (MIORINI, 2012). As espécies mais cultivadas são o *Phaseolus vulgaris* L. (feijão-comum) e o *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (feijão-caupi ou feijão fradinho).

A expressão do potencial produtivo do feijão depende, principalmente, de condições climáticas favoráveis, pois quando desfavoráveis, podem limitar o desenvolvimento da cultura. Portanto, o tipo de cultivar a ser utilizada na região e época de semeadura devem estar relacionados à disponibilidade de água ao longo do ciclo, para um excelente desenvolvimento do feijoeiro, obtendo como resultado uma boa produtividade (SIMIDU et al., 2010).

Dentre os fatores limitantes da produção vegetal, a deficiência hídrica ocupa posição de destaque, pois, além de afetar diretamente as relações hídricas e trocas gasosas nas plantas, afeta o crescimento e desenvolvimento dos vegetais, sendo um fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis. As plantas sofrem alterações no seu metabolismo quando mantidas sob condições ambientais adversas.

O déficit hídrico no solo, reduz a atividade fotossintética (JONG, 2000; GONÇALVES et al., 2010; TAIZ et al., 2017), influenciando no crescimento das plantas, por promover redução do comprimento de raiz, área foliar, número de folhas, massa seca de parte aérea e, conseqüentemente, na produtividade de grãos. Essas reduções podem ser atribuídas a danos oxidativos, causados pelo aumento da produção de espécies reativas de oxigênio no interior das células (ERO) (FOYER e NOCTOR, 2005). As ERO podem provocar desintegração de clorofila, fragmentação do DNA, extravasamento iônico, modificações proteicas, peroxidação de lipídios e, até a morte celular. Em contrapartida, os vegetais dispõem de um sistema de defesa antioxidante enzimático capaz de remover,

neutralizar ou limpar as ERO do interior das células vegetais (CAVALCANTI et al., 2004; MARTINS e MOURATO, 2008). Dentre as principais enzimas antioxidantes destacam-se a superóxido dismutase (SOD) e a peroxidase (POD) (BROETTO et al., 2004; GILL, 2011).

A deficiência hídrica, além de gerar danos oxidativos na cultura do feijão, pode favorecer a incidência de doenças, tanto por contribuir para a multiplicação do patógeno quanto por promover debilidade das plantas. Segundo Athayde Sobrinho et al. (2005), a importância das doenças fúngicas está diretamente relacionada à região, à forma de cultivo e à época de plantio. Dentre estas doenças fúngicas, com alto potencial de dano, destaca-se aquela causada pelo patógeno *Macrophomina phaseolina* agente causal da podridão de carvão, doença que ocorre em mais de 500 espécies de plantas (BABU et al., 2010), altamente prejudicial a cultura do feijoeiro.

O manejo da podridão de carvão é difícil, pois o patógeno apresenta grande gama de hospedeiros e elevada longevidade no solo (MICHEREFF et al., 2005; MUCHERO et al., 2011). A aparente elevada variabilidade genética aumenta seu poder patogênico e dificuldade de controle. Trabalhos e/ou resultados na busca de fontes de resistência de feijões contra este patógeno ainda são incipientes (CARVALHO et al., 2015).

A ocorrência de doenças em plantas é resultante da favorabilidade do ambiente, da suscetibilidade do hospedeiro e da presença do patógeno. Deste modo, o déficit hídrico pode atuar diretamente no ciclo patógeno-hospedeiro. A resposta das plantas ao déficit hídrico é caracterizada por alterações nos processos fisiológicos e bioquímicos, como fotossíntese, respiração, translocação, absorção de íons, e produção de fotoassimilados (JALEEL et al., 2008; TAIZ et al., 2017), diante disso, algumas plantas, submetidas a deficiência hídrica, apresentam maior suscetibilidade ao ataque de fungos, pois as alterações na fotossíntese e na produção de fotoassimilados podem reduzir a oferta de carboidratos, interferindo no metabolismo de compostos de defesa das plantas (McDOWELL et al., 2011). Na cultura do sorgo, segundo Goudarzi et al. (2011), o déficit hídrico promoveu redução na produção de açúcares totais, o que foi correlacionada com o aumento da colonização da *Macrophomina phaseolina*. O déficit hídrico associado com o patógeno de solo *Macrophomina phaseolina* proporcionam maior severidade e incidência de podridão de carvão em feijoeiro, como relatado por Mayek-Perez et al. (2002).

Diante do exposto objetivou-se neste trabalho mensurar as alterações nos parâmetros de crescimento e avaliar as respostas protetivas das diferentes cultivares de feijão, submetidas a diferentes condições de irrigação e inoculadas com o patógeno de solo *Macrophomina phaseolina*.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na casa de vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados – MS, situada a 22°11'43,7"S e 54°56'08,5"W e altitude de 430 m. O clima da região, é do tipo Am (ALVARES et al., 2013).

O experimento foi instalado no dia 15 de fevereiro de 2018 e finalizado no dia 16 de abril do mesmo ano, totalizando 59 dias. Foram utilizadas duas cultivares de feijão-caupi: BRS Guariba e BRS Tumucumaque e uma cultivar de feijão-comum: BRS Esteio. As cultivares de feijão-caupi foram escolhidas pela importância econômica para o agronegócio brasileiro, sendo as principais cultivares produzidas para exportação, e possuírem uma elevada aceitação comercial pelo mercado externo, principalmente a BRS Tumucumaque. A BRS Guariba destaca-se por ser moderadamente tolerante à seca e a altas temperaturas, a BRS Tumucumaque pela qualidade nutricional. Enquanto a cultivar de feijão-comum BRS Esteio, destaca-se pelo potencial produtivo e preferência do mercado externo a grãos pretos.

O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa. A calagem e a adubação foram realizadas 15 dias antes do plantio de acordo com a interpretação da análise química de solo e a necessidade da cultura segundo Raij (1996).

Durante o período experimental foi realizado controle químico para míldio utilizando o fungicida Dithiobin® 780 WP (Mancozeb+Tiofanato Metílico) e para pulgão o inseticida Gaucho® FS-0 (Imidacloprid).

Preparo do inóculo

O isolado de *M. phaseolina* foi obtido no laboratório de Microbiologia Agrícola e Fitopatologia da UFGD. Os isolados foram cultivados em meio batata-dextrose-ágar (BDA), incubados a $26 \pm 2^\circ\text{C}$, com fotoperíodo de 12h. A inoculação do patógeno foi realizado pelo método do grão de arroz sem casca, conforme metodologia adaptada de Songa et al. (1997). Este método consistiu na embebição de 300 g de arroz sem casca por 12h, em erlenmeyers de 500 mL, posteriormente esterilizados por

autoclavagem durante 20 minutos a 120°C. Após o resfriamento, foram adicionados, em cada frasco, cinco discos de meio de cultura BDA de 5 mm de diâmetro, colonizado com *M. phaseolina*, com sete dias de idade. Em seguida, os erlenmeyers foram incubados durante 15 dias sob temperatura de $26 \pm 2^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12h, até a completa colonização dos grãos. Para garantir uma colonização homogênea, a partir do terceiro dia após deposição dos discos de micélio, os frascos foram agitados manualmente a cada dia.

Semeadura e inoculação do patógeno

As sementes das cultivares de feijão utilizadas foram desinfestadas em solução NaClO 1,5% por um minuto, lavadas em água destilada e secadas em papel toalha, conforme protocolo adaptado de Brasil (2009).

A semeadura foi realizada em vaso contendo 4,5 kg de substrato constituído pela mistura Latossolo Vermelho distroférrico + areia (2:1 v/v), sendo semeadas quatro sementes em cada vaso, após a emergência, duas plantas foram mantidas por vaso.

A inoculação foi realizada na semeadura e constou na deposição direta em cada cova de cinco grãos de arroz colonizados pelo fungo. Os controles de cada tratamento consistiram na deposição de cinco grãos de arroz autoclavados e não colonizados pelo fungo, em cada cova de plantio.

Tratamentos

Para cada cultivar o experimento foi conduzido utilizando quatro tratamentos:

- Não Inoculado sob Irrigação Contínua (N Inoc + IC): conduzido sem inoculação e sob irrigação contínua, sendo as plantas mantidas com a capacidade de campo de 70% por todo período experimental.

- Não Inoculadas sob Irrigação Intermitente (N Inoc + II): conduzido sem inoculação e com suspensão da irrigação aos 27 dias após a semeadura até que a fotossíntese de pelo menos uma das cultivares se aproximasse de zero, o que ocorreu cinco dias após a suspensão da irrigação de pelo menos uma das cultivares, posteriormente, as plantas foram reirrigadas.

- Inoculadas sob Irrigação Contínua (Inoc + IC): conduzido com inoculação de *M. phaseolina* e irrigação contínua, sendo as plantas mantidas com a capacidade de campo de 70% por todo período experimental.

- Inoculadas sob Irrigação Intermitente (Inoc + II): conduzido com inoculação de *M. phaseolina*, seguida de suspensão da irrigação aos 27 dias após a semeadura até

que a fotossíntese de pelo menos uma das cultivares se aproximasse de zero, o que ocorreu cinco dias após a suspensão da irrigação de pelo menos uma das cultivares, posteriormente, as plantas foram reirrigadas.

Períodos de avaliação

As avaliações foram realizadas em três períodos. O primeiro período caracterizado como Início ocorreu aos 27 dias após a semeadura, antes da suspensão da irrigação, no estágio fenológico V3. O segundo período caracterizado como Suspensão da Irrigação (SI) ocorreu após a imposição do déficit hídrico dos tratamentos estressados quando a fotossíntese das plantas alcançou valores próximos a zero, no estágio fenológico V4. O terceiro período caracterizado como Florescimento (Flor) ocorreu quando surgiu os primeiros botões florais de cada cultivar, no estágio fenológico V5.

Parâmetros avaliados

Em cada período de avaliação seis plantas de cada tratamento foram retiradas dos vasos, lavadas em água corrente e secas com papel toalha, e posteriormente levadas ao laboratório de Fisiologia Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias para as subsequentes avaliações.

O conteúdo relativo de água nas folhas (CRA) foi determinado a cada período de avaliação, em quatro folhas de cada tratamento, segundo a expressão matemática:

$$\text{CRA (\%)} = 100 \frac{(\text{Massa Fresca} - \text{Massa Seca})}{(\text{Massa Saturada} - \text{Massa Seca})}$$

As folhas foram coletadas às 7h da manhã e no laboratório foram submetidas ao corte em discos de área conhecida. Após pesagem da massa fresca, foram colocadas em placas de petri com água destilada por 24h para saturação. Após pesagem dos discos saturados eles foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72h para determinação da massa seca.

O diâmetro do colo foi mensurado com auxílio de um paquímetro digital de precisão (0,001 mm) e o resultado expresso em milímetros (mm)

O comprimento de raiz foi realizado utilizando uma régua graduada em centímetros para a medida da maior raiz.

A área foliar foi medida com o aparelho LI-COR modelo LI-3100C.

A massa seca de folha, caule e raiz secas foi realizada em estufa de circulação forçada de ar à 65°C por 72h até atingirem massa constante, e pesadas em balança de precisão e os resultados expressos em gramas (g).

O número de folíolos foi mensurado a partir da contagem do número total de folíolos por planta.

O tamanho de lesão radicular foi mensurado utilizando uma régua graduada em centímetros para medir o tamanho da lesão na raiz principal das plantas.

Porcentagem de raiz lesionada (%) foi mensurada a partir da divisão do tamanho de lesão radicular (cm) pelo comprimento da maior raiz (cm), posteriormente multiplicado por cem.

Para avaliação da atividade enzimática foram utilizados extratos obtidos a partir da homogeneização de 1 g de folhas de cada tratamento, fragmentadas em almofariz, inicialmente na presença de nitrogênio líquido. Em seguida, foram adicionados 2 ml de solução de extração, constituída de EDTA 0,1M em tampão de fosfato de potássio 0,1 M, pH 6,8, contendo 20 mg de PVP (Polivinilpirrolidona), procedendo-se uma nova homogeneização. O homogeneizado foi centrifugado por 20 minutos a 4000 rpm e o sobrenadante coletado utilizado nas avaliações enzimáticas.

Peroxidase: A atividade nas folhas e raízes foi determinada de acordo com a metodologia adaptada de Pütter (1974). Utilizando alíquotas de 100 µL do extrato enzimático bruto, diluído para 1:25 (v:v) com solução de extração. Foram adicionados 0,9 ml de uma mistura de reação contendo tampão fosfato de potássio 25 mM, pH 6,8 acrescida do pirogalol 20 mM e H₂O₂. O aumento na absorbância da solução foi lida a 420 nm, utilizando-se para os cálculos, o coeficiente de extinção molar de 2,47 mM⁻¹cm¹.

Superóxido dismutase: A atividade nas folhas e raízes foi determinada de acordo com a metodologia adaptada de Giannopolitis e Ries (1977), adicionando 50 µL de extrato enzimático diluído para 1:5 (v:v) com solução de extração à mistura de reação, constituída de metionina 13 mM, azul de p-nitro tetrazólio (NBT) 75 µM, EDTA 100 mM e riboflavina 2 µM, em tampão de fosfato de sódio 50 mM, pH 7,8. A reação foi conduzida a 25°C em câmara de reação, sob a iluminação de duas lâmpadas fluorescentes de 15 W. A reação foi iniciada pelo acendimento das lâmpadas e, após 15 minutos, interrompida pelo desligamento das mesmas. A produção de formazana azul, resultante da foto-redução do NBT, foi medida pela determinação do incremento na absorbância a 560 nm, que foi subtraída de um “branco”, no qual a mistura de reação foi mantida no escuro.

Delineamento experimental e análise dos dados

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x3, sendo dois níveis de inoculação, dois níveis de irrigação e três períodos de avaliação com quatro repetições. Para avaliação do tamanho de lesão e a porcentagem de raiz lesionada, foi utilizado o esquema fatorial 2x3, sendo os dois níveis de irrigação e os três períodos de avaliação com o mesmo número de repetições. Para análise dos resultados foi utilizado o programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2010) e os dados foram submetidos à análise de variância, os efeitos significativos para as médias de cada nível de inoculação, irrigação e de períodos de avaliação foram submetidas, aos testes T de Bonferroni e Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS

CULTIVAR GUARIBA

Para a cultivar Guariba houve interação significativa tripla ($p < 0,05$) entre os níveis de inoculação, irrigação e os períodos de avaliação para conteúdo relativo de água (CRA%), área foliar (cm^2), massa seca de parte aérea (g), massa seca de raiz (g), número de folíolos por planta, atividade enzimática peroxidase e superóxido dismutase para folhas e raízes. Efeitos isolados ($p < 0,05$) para os períodos de avaliação foram observados para diâmetro de colo (mm), tamanho de lesão radicular e porcentagem de raiz lesionada. Não houve interações ($p < 0,05$) entre os tratamentos para comprimento de raiz (g).

O conteúdo relativo de água (CRA%) foi inferior nas plantas sob irrigação intermitente no período com suspensão da irrigação independente da inoculação, entretanto observa-se, que o efeito foi mais pronunciado nas plantas inoculadas com *M. phaseolina* (Figura 1A).

A massa seca de parte aérea (g) aumentou linearmente ao longo do período experimental para todas as condições de inoculação e irrigação, exceto para plantas não inoculadas com irrigação intermitente, demonstrando maior sensibilidade dessa cultivar a irrigação intermitente (Figura 1B). Comportamento semelhante foi observado para massa seca de raiz (g), onde a condição de irrigação intermitente nas plantas não inoculadas promoveu menor incremento no sistema radicular (Figura 1C).

Para diâmetro de colo (mm), observou-se uma tendência de aumento ao longo do período experimental, sem efeito do déficit hídrico e/ou inoculação do patógeno (Figura 1D).

Para comprimento de raiz não houve diferença significativa entre os tratamentos, e média geral foi de 36,9 cm.

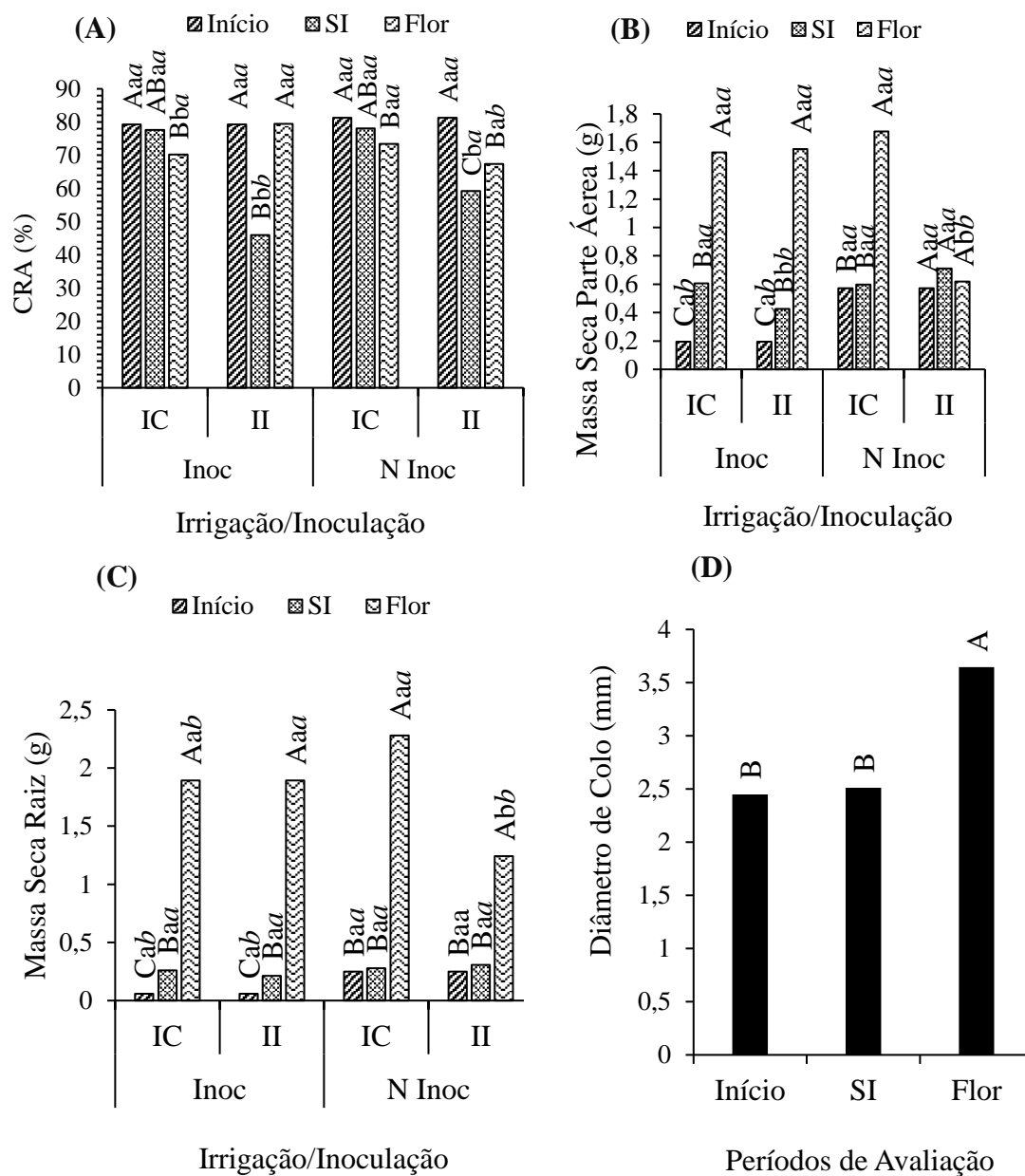


FIGURA 1. Conteúdo relativo de água -CRA% (A); Massa seca da parte aérea (B) Massa seca de raiz (C); Diâmetro de colo (D) de feijão-caupi cultivar Guariba em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.

Quanto a área foliar (cm^2) as plantas inoculadas apresentaram aumento deste parâmetro ao longo do período experimental com maior incremento no período florescimento na condição de irrigação intermitente, demonstrando uma maior capacidade de recuperação, porém no período inicial apresentaram menor área foliar. As plantas não inoculadas, independente da condição de irrigação não apresentaram diferença significativa ao longo do período experimental (Figura 2A).

Observa-se maior número de folíolos por planta (40 unid./planta) no período de florescimento com inoculação e irrigação intermitente (Figura 2B).

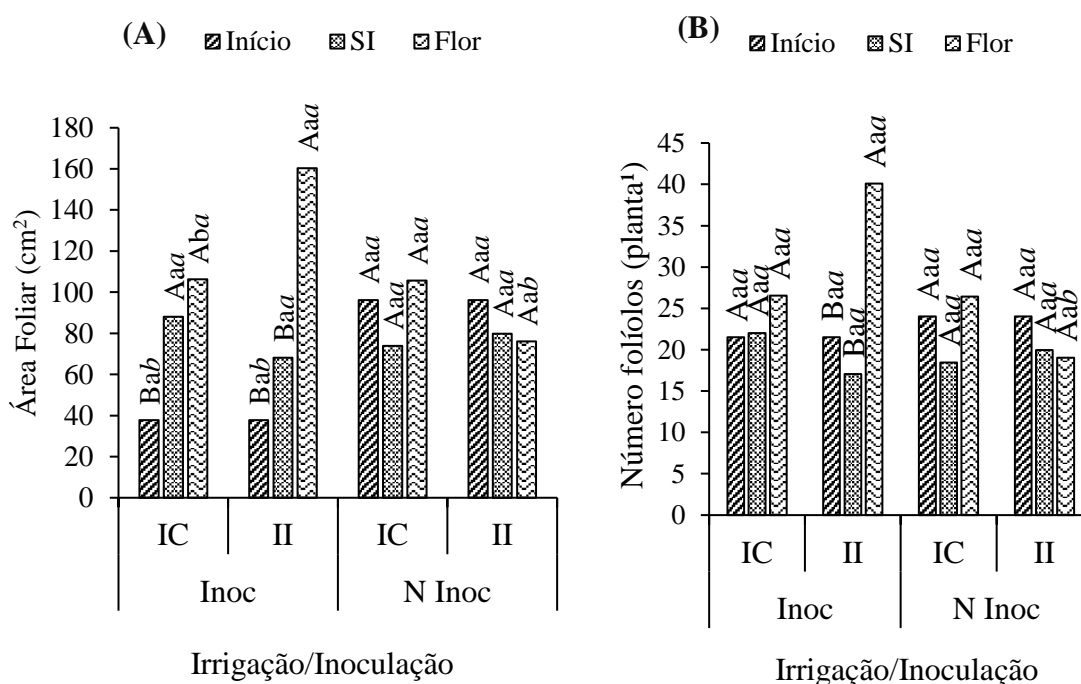


FIGURA 2. Área foliar (A); Número de folíolos (B) de feijão-caupi cultivar Guariba em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.

A atividade enzimática da peroxidase nas folhas foi maior no período suspensão da irrigação (SI) e florescimento, na condição de irrigação intermitente e inoculação. Para a condição de irrigação contínua também foi observado incremento da atividade no período florescimento nas plantas não inoculadas (Figura 3A). Para as raízes a inoculação com o patógeno *M. phaseolina* favoreceu o aumento da atividade

enzimática sob irrigação contínua, já a irrigação intermitente nos tratamentos com a ausência de inoculação favoreceu o aumento da atividade nos períodos SI e florescimento sendo maior que as plantas sob irrigação contínua na mesma condição de inoculação. (Figura 3B).

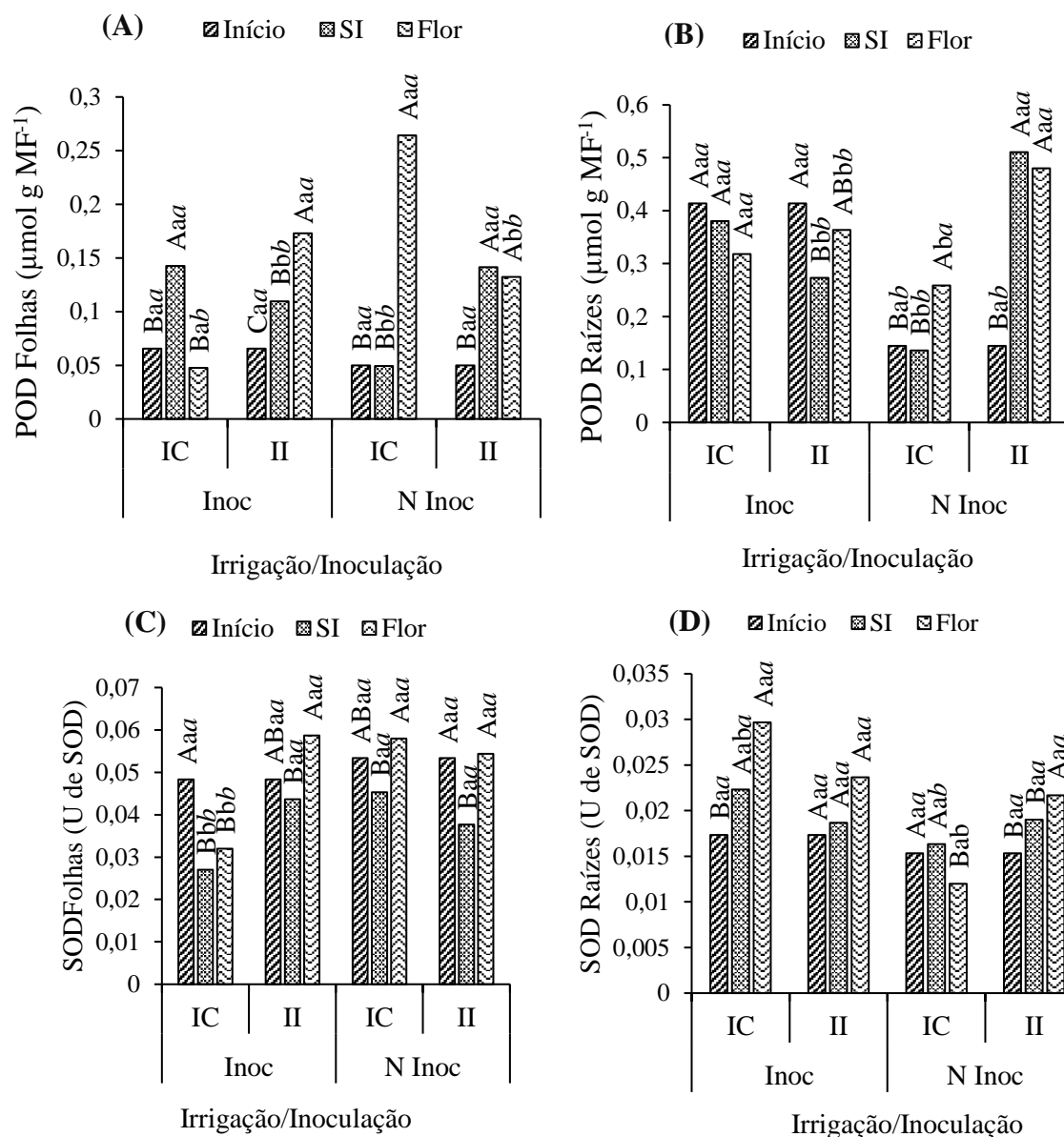


FIGURA 3. Atividade enzimática de peroxidase nas folhas (POD folhas) (A) e raízes (POD raízes) (B); Atividade enzimática de superóxido dismutase nas folhas (SOD Folhas) (C) e raízes (SOD raízes) (D) de feijão-caupi cultivar Guariba em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.

A atividade enzimática superóxido dismutase nas folhas das plantas inoculadas sob déficit hídrico foi maior comparadas as que permaneceram sob irrigação contínua. Para as raízes a atividade da SOD foi mais alta para os tratamentos inoculados (Figuras 3C e 3D). Quanto ao tamanho de lesão radicular e porcentagem de raiz lesionada, apenas o fator isolado períodos de avaliação, foi significativo apresentando maiores valores no florescimento (Figura 4A e 4B).

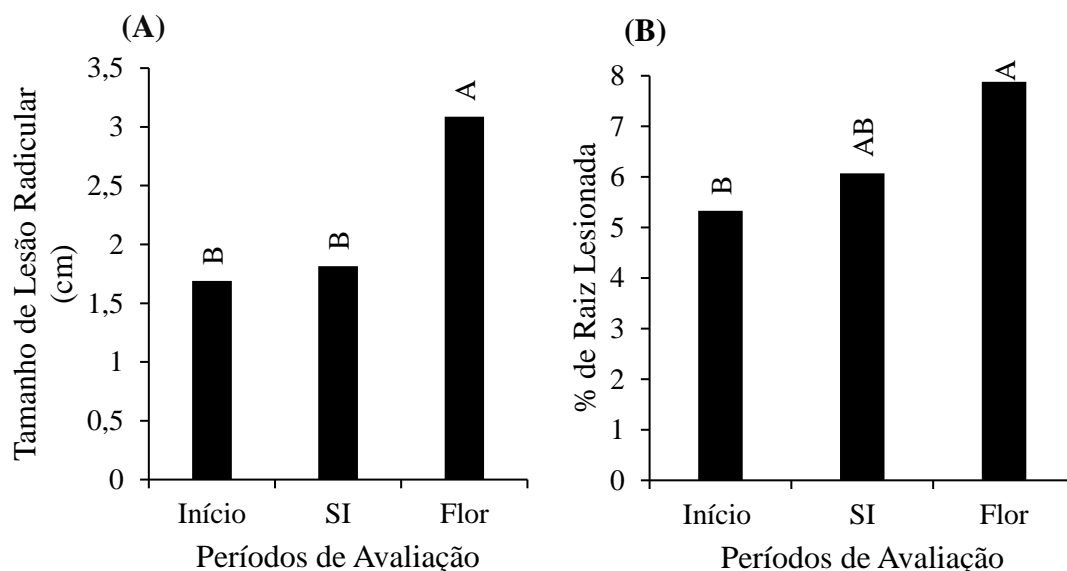


FIGURA 4. Tamanho de lesão radicular (A); Porcentagem de raiz lesionada (B) de feijão-caupi cultivar Guariba em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação ao longo do período experimental.

CULTIVAR TUMUCUMAQUE

Para a cultivar Tumucumaque a interação significativa tripla ($p < 0,05$) foi observada para massa seca de parte aérea (g), atividade enzimática peroxidase nas folhas e raízes e superóxido dismutase nas folhas. Interações duplas ($p < 0,05$) entre os níveis de inoculação e os períodos de avaliação foram verificadas para comprimento de raiz (cm), área foliar (cm^2) e massa seca de raiz (g). Interações duplas ($p < 0,05$) entre os níveis de irrigação e os períodos de avaliação foram observadas no conteúdo relativo de água (CRA%), área foliar (cm^2) e massa seca de raiz (g). Efeitos isolados ($p < 0,05$) para os períodos de avaliação foram observados para diâmetro de colo (mm), número de folíolos por planta e tamanho de lesão radicular. Não houve interações ($p < 0,05$) entre os tratamentos para porcentagem de raiz lesionada.

Para massa seca de parte aérea (g), o maior incremento nas plantas ocorreu na condição de irrigação contínua independente da inoculação com *M. phaseolina*. Já para condição de irrigação intermitente independente da inoculação pelo patógeno são observados os menores valores. (Figura 5A).

Para comprimento de raiz (cm) o menor valor foi verificado no início, para as plantas inoculadas, não ocorrendo diferenças significativas nos demais períodos avaliados (Figura 5B).

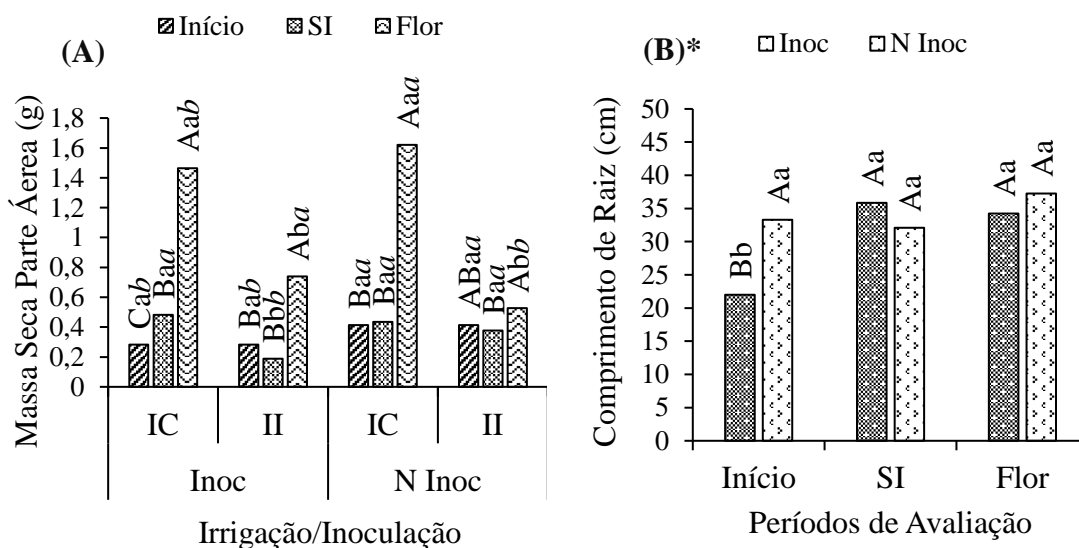


FIGURA 5. Massa seca de parte aérea (A); Comprimento de raiz (B) de feijão-caupi cultivar Tumucumaque em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação. * Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma inoculação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes inoculações.

A massa seca de raiz (g) apresentou comportamento semelhante ao da área foliar com incrementos em torno de 21% das plantas inoculadas em relação as plantas não inoculadas na época de florescimento (Figura 6A). Já para condições de irrigação, a contínua no período florescimento proporcionou aumento de 306% em relação a irrigação intermitente (Figura 6B).

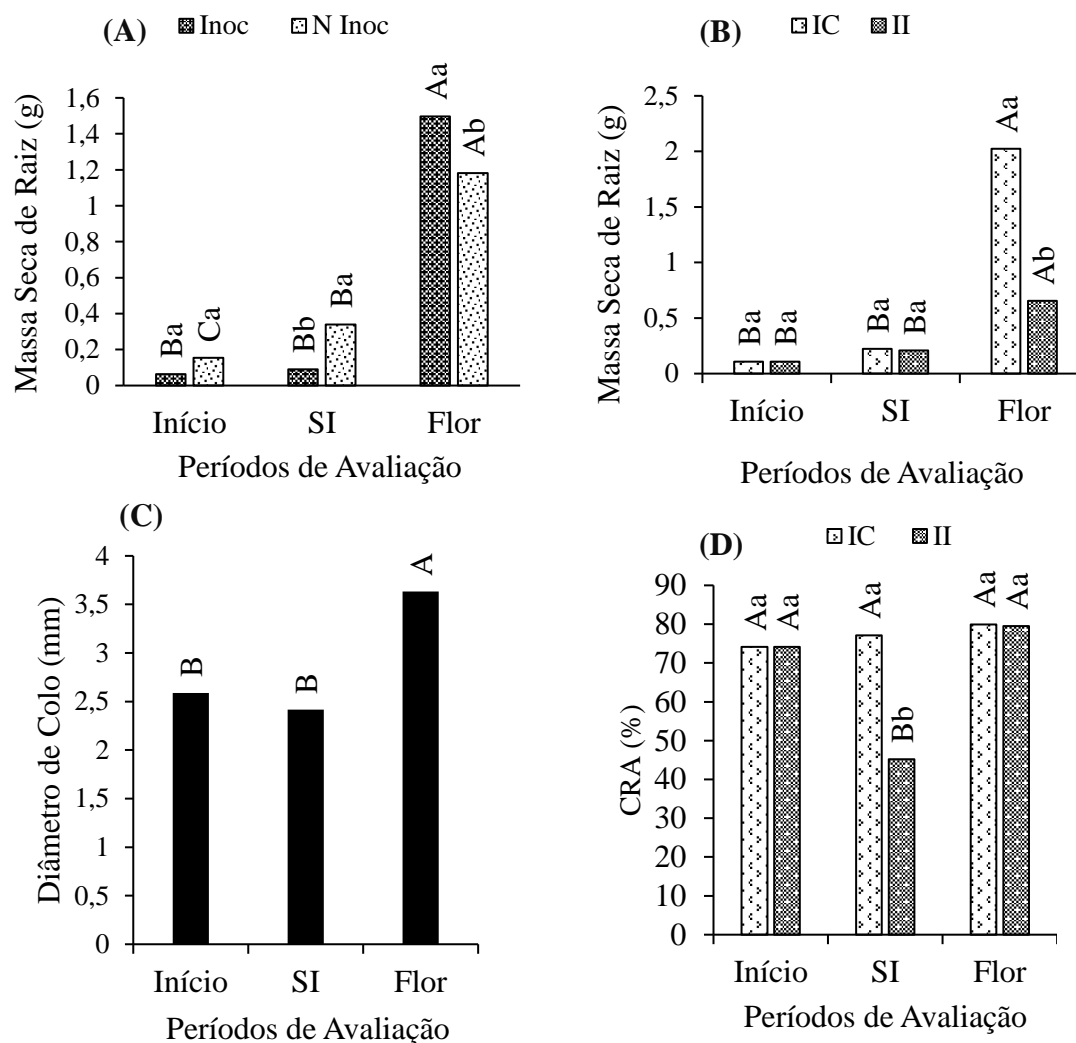


FIGURA 6. Massa Seca de raiz (A,B); Diâmetro de colo (C); Conteúdo relativo de água - CRA (D); de feijão-caupi cultivar Tumucumaque em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma condição de inoculação ou irrigação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes condições de inoculação ou irrigação.

Para o diâmetro de colo (mm), pode-se observar um acréscimo ao longo do período experimental (Figura 6C).

O conteúdo relativo de água (CRA%) reduziu nas plantas submetidas a irrigação intermitente no período suspensão da irrigação (Figura 6D).

A área foliar (cm²) das plantas inoculadas aumentou significativamente do período experimental com aumento de 19,8% em relação as plantas não inoculadas (Figura 7A). Observa-se essa tendência de aumento para os tratamentos com irrigação

continua, que diferiu da irrigação intermitente nos períodos após a suspensão da irrigação (Figura 7B).

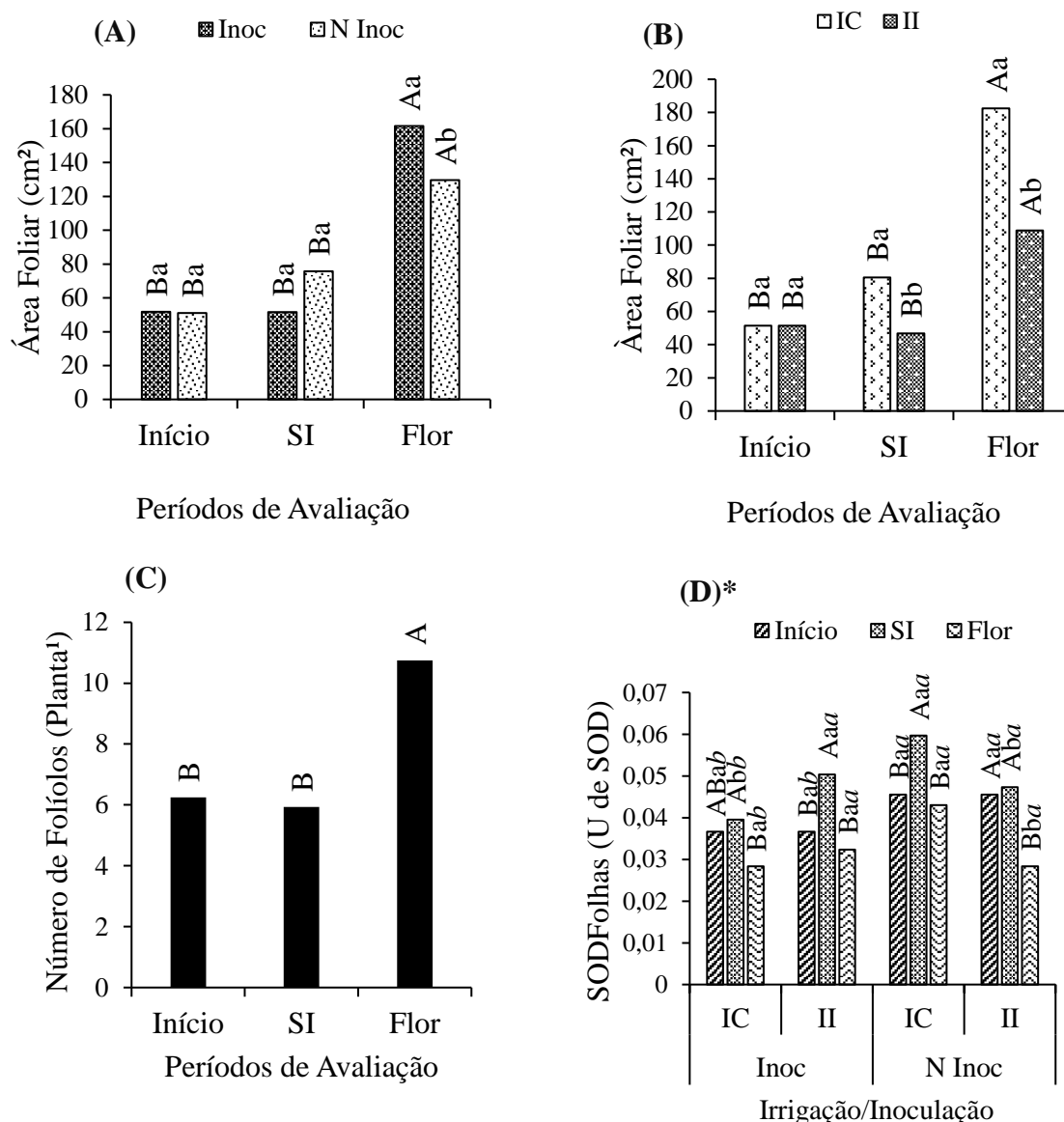


FIGURA 7. Área foliar (A,B); Número de folíolos (C); Atividade enzimática de superóxido dismutase nas folhas (SOD Folhas) (D); de feijão-caupi cultivar Tumucumaque em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma condição de irrigação ou inoculação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes condições de irrigação ou inoculação. *Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.

Quanto ao número de folhas por planta observou-se um aumento ao longo do período de avaliação (Figura 7C).

A superóxido dismutase nas folhas (Figura 7D) apresentou valores altos independente dos tratamentos e para raízes não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, apresentando média geral de 0,015 U de SOD.

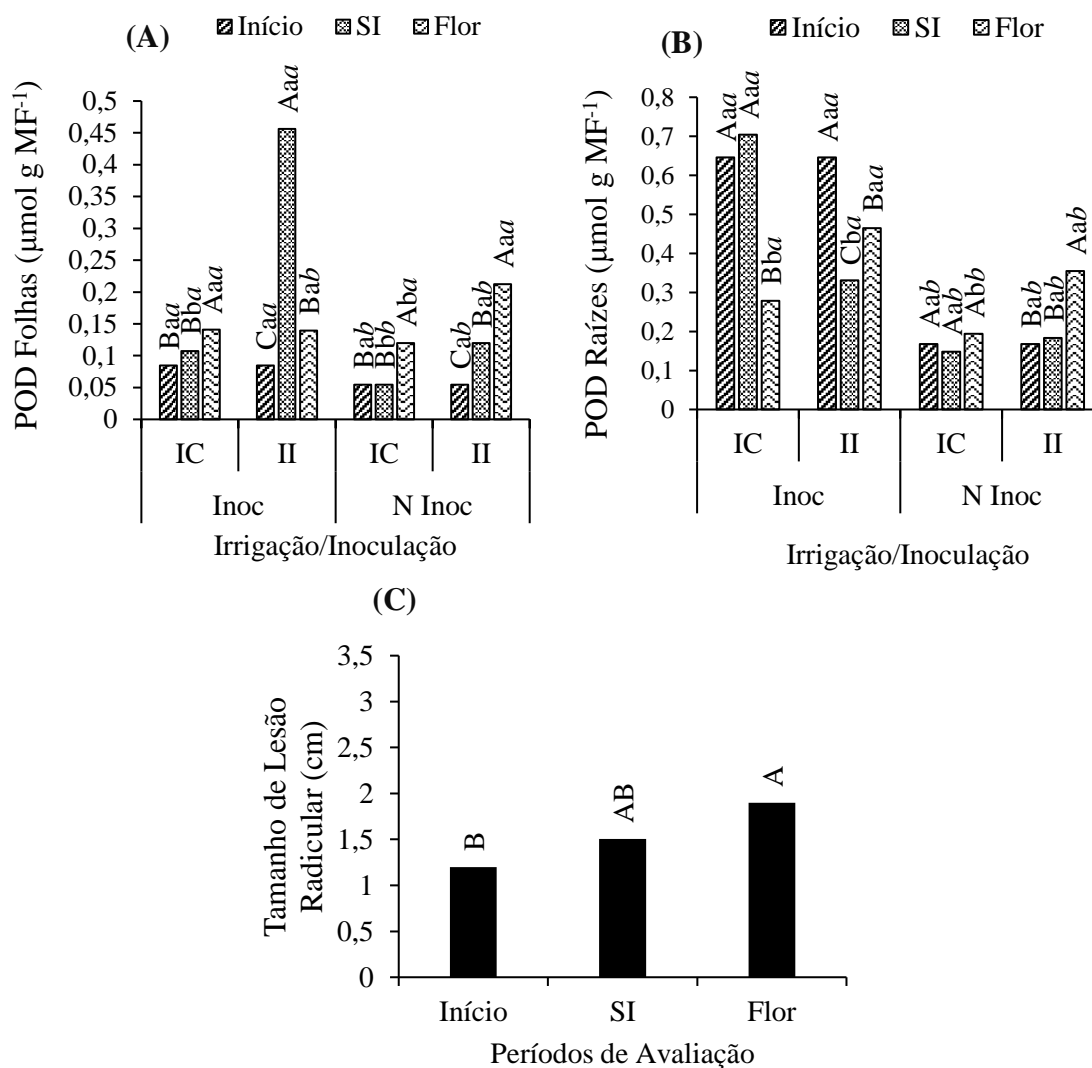


FIGURA 8. Atividade enzimática de peroxidase nas folhas (POD Folhas) (A) e raízes (POD raízes) (B); Tamanho de lesão radicular (C) de feijão-caupi cultivar Tumucumaque em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.

Para a atividade enzimática da peroxidase nas folhas foi observado aumento no período SI sob irrigação intermitente na presença de inoculação (Figura 8A). Para as raízes a atividade de SOD aumentou nos tratamentos sob inoculação do patógeno independente da condição de irrigação (Figuras 8B).

Para tamanho de lesão radicular, não houve interação significativa entre as condições de irrigação e inoculação com os períodos de avaliação, o efeito foi isolado apenas para períodos de avaliação. O tamanho da lesão aumentou ao decorrer do período experimental (Figura 8C). Para porcentagem de raiz lesionada (%) não houve interação entre os fatores, sendo a média geral 4,73%.

CULTIVAR ESTEIO

Para a cultivar Esteio, a interação significativa tripla ($p < 0,05$) foi verificada para comprimento de raiz (cm), massa seca de parte aérea e raiz (g) e atividade enzimática peroxidase para folhas e raízes. Interações duplas ($p < 0,05$) entre os níveis de inoculação e os períodos de avaliação foram verificadas para área foliar (cm^2) e número de folíolos por planta. Interações duplas ($p < 0,05$) entre os níveis de irrigação e os períodos de avaliação foram observadas no conteúdo relativo de água (CRA%), área foliar (cm^2), atividade enzimática superóxido dismutase para folhas e porcentagem de raiz lesionada (%). Efeitos isolados ($p < 0,05$) para os períodos de avaliação foram observados para diâmetro de colo (mm) e tamanho de lesão radicular.

O diâmetro do colo (mm) (Figura 9A), aumentou ao longo do período experimental com maior incremento no florescimento. Quanto a comprimento de raiz (cm) houve menor crescimento nas plantas inoculadas, principalmente sob irrigação intermitente (II), não promovendo diferenças significativas nos períodos de avaliação das plantas não inoculadas nas diferentes irrigações (Figura 9C).

Em relação a massa seca de parte aérea (g), houve incremento durante o período experimental nos tratamentos com irrigação contínua independente da inoculação. Ressalta-se menor acúmulo de massa seca desde o início do período experimental para as plantas não irrigadas sem inoculação (Figura 9B). Em contrapartida, o tratamento com irrigação intermitente sob inoculação do patógeno *M. phaseolina* mostra declínio no acúmulo de massa seca a partir da suspensão da irrigação (SI). De modo geral a massa seca de raiz (g) foi maior na condição de irrigação contínua nas plantas que não foram inoculadas com *M. phaseolina* e menor na presença do patógeno e déficit hídrico (Figura 9D).

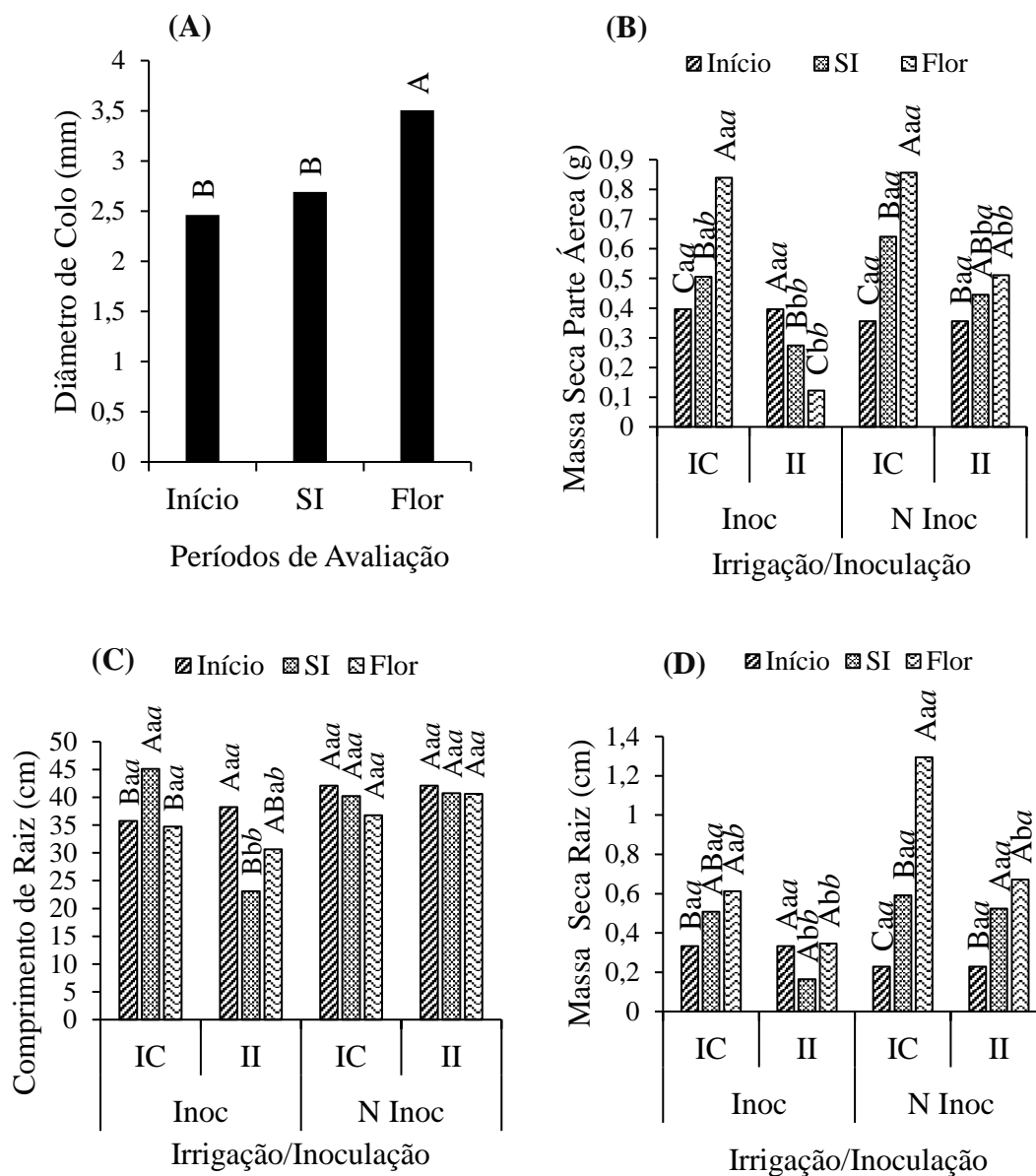


FIGURA 9. Diâmetro de colo (A); Massa seca parte aérea (B); Comprimento de raiz (C); Massa Seca de Raiz (D) de feijão-comum cultivar Esteio em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em *itálico* compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação.

O conteúdo relativo de água (CRA%) foi menor nas plantas sob irrigação intermitente no período suspensão da irrigação (Figura 10A).

O número de folhas por planta no tratamento não inoculado foi significativamente maior no florescimento (Figura 10B).

A área foliar das plantas não inoculadas apresentaram um incremento de 63% na área foliar (cm²) quando comparado as plantas inoculadas (Figura 10D). O aumento da área foliar também foi observado para os tratamentos com irrigação contínua ao longo do período experimental (Figura 10D).

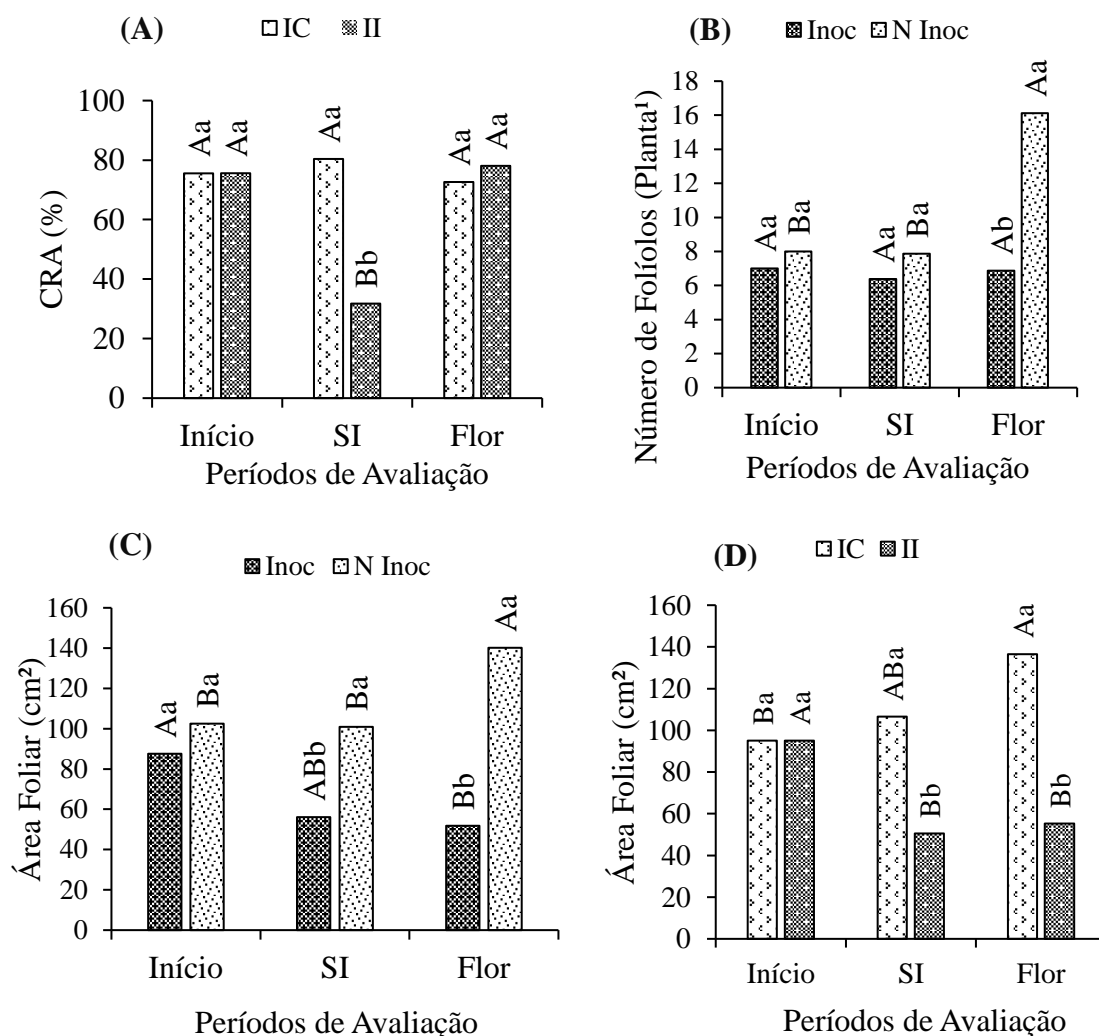


FIGURA 10. Conteúdo relativo de água (A); Número de folíolos (B); Área foliar (C,D) de feijão-comum cultivar Esteio em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação-SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma condição de irrigação ou inoculação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes condições de irrigação ou inoculação.

A atividade enzimática peroxidase das folhas foi maior nas plantas sob inoculação e irrigação intermitente comparadas as que receberam irrigação contínua, nas plantas não inoculadas a atividade da peroxidase foi menor do que sob inoculação do

patógeno (Figura 11A). Para as raízes a menor atividade da peroxidase foi observada nas plantas sob irrigação contínua e não inoculadas (Figura 11B).

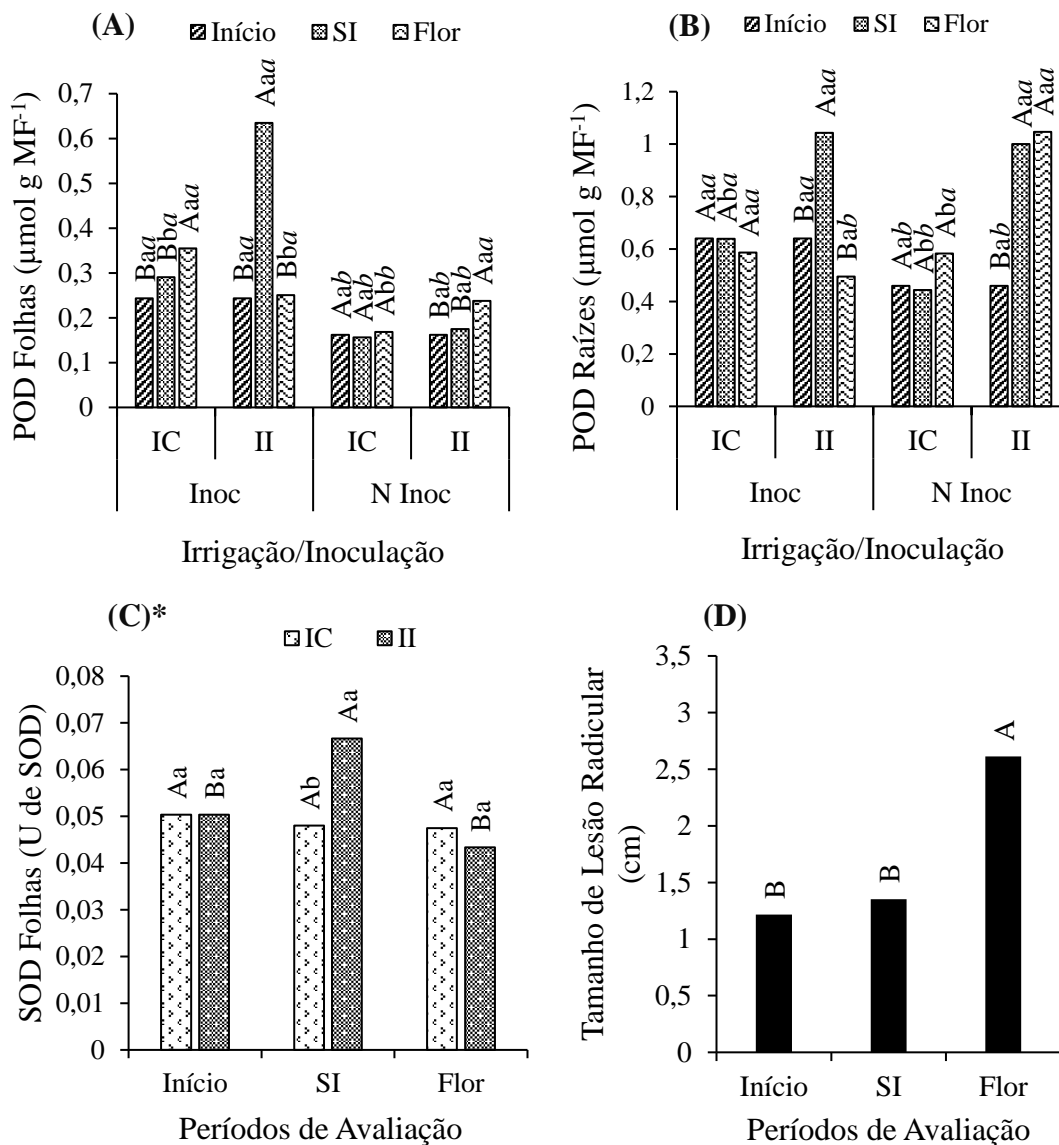


FIGURA 11. Atividade enzimática de peroxidase nas folhas (POD folhas) (A) e raízes (POD raízes) (B); Atividade enzimática de superóxido dismutase nas folhas (SOD Folhas) (C); Tamanho de lesão radicular (D) de feijão-comum cultivar Esteio em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara a mesma condição de irrigação e inoculação nos diferentes períodos de avaliação. Letra minúscula compara a mesma condição de inoculação e períodos de avaliação nas diferentes condições de irrigação. Letra em itálico compara a mesma condição de irrigação e períodos de avaliação nas diferentes condições de inoculação. *Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma condição de irrigação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes condições de irrigação.

Para a superóxido dismutase nas folhas, a condição de irrigação intermitente proporcionou aumento da atividade enzimática no período suspensão da irrigação (SI) (Figura 11C), para as raízes não houve diferença significativa entre os tratamentos com média geral de 0,0099 U de SOD.

Para o tamanho de lesão radicular, apenas o fator períodos de avaliação foi significativo. Sendo que o tamanho da lesão aumentou ao decorrer do período experimental (Figura 11D).

Para porcentagem de raiz lesionada (%), as plantas sob a condição de irrigação intermitente apresentaram maior tecido radicular lesionado comparadas as irrigadas de forma contínua (Figura 12).

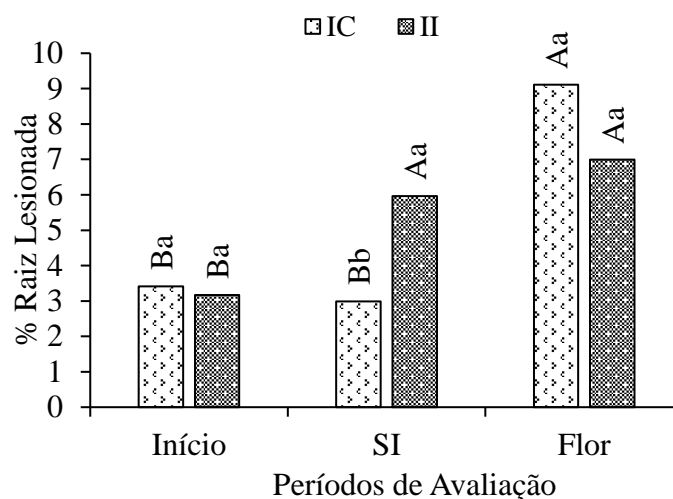


FIGURA 12. Porcentagem de raiz lesionada (%) de feijão-comum cultivar Esteio em função das diferentes irrigações (Irrigação Contínua-IC, Irrigação Intermitente-II), da Inoculação (Inoculado-Inoc, Não Inoculado-N Inoc) e dos períodos de avaliação (Início; Suspensão da Irrigação- SI, Florescimento-Flor). Dourados-MS, UFGD, 2019. Letra maiúscula compara os diferentes períodos de avaliação na mesma condição de irrigação. Letra minúscula compara o mesmo período de avaliação nas diferentes condições de irrigação.

Após a suspensão da irrigação (SI) foi observada abscisão foliar para todas as cultivares de feijão. Entretanto para cultivar Guariba a abscisão foi menor comparada a Tumucumaque e Esteio. A cultivar Esteio apresentou maior abscisão.

DISCUSSÃO

O déficit hídrico associado à inoculação com *M. phaseolina* causou redução no CRA das folhas e no acúmulo de massa seca de raiz e parte aérea, proporcionou aumento da atividade enzimática da peroxidase nas folhas e raízes da cultivar Esteio.

Enquanto que para as cultivares Guariba e Tumucumaque os efeitos foram menos pronunciados na associação dos fatores, sendo que para essas cultivares, o efeito isolado do déficit hídrico foi mais significativo, proporcionando menores resultados para CRA, área foliar, massa seca de raiz. Entretanto a Tumucumaque apresentou aumento da área foliar e massa seca de raiz na presença apenas da inoculação.

O CRA (%) reduziu em todas as cultivares avaliadas. Sendo que para a cultivar Guariba a maior redução observada foi na época da suspensão da irrigação nos tratamentos com irrigação intermitente, principalmente, o inoculado com *M. phaseolina*, o que atribui-se à desidratação imposta pela irrigação intermitente. As cultivares Tumucumaque e Esteio apresentaram comportamento semelhante, alcançando menores valores na condição de irrigação intermitente cinco dias após a suspensão da irrigação e com posterior recuperação no período florescimento. Resultados semelhantes foram observados por Fioreze et al. (2011) que avaliaram o comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico observaram decréscimo no CRA seis dias após a suspensão da irrigação. Maia et al. (2007), avaliando o comportamento de cultivares de milho sob déficit hídrico de cinco dias também observou redução no CRA.

Para diâmetro do colo, não foi observado influência das condições de irrigação e inoculação para nenhuma das cultivares avaliadas. O aumento em relação aos períodos de avaliação se deve ao fato das plantas terem se desenvolvido ao longo do período experimental.

O déficit hídrico isoladamente proporcionou maior redução da massa seca tanto de raiz quanto da parte aérea para todas as cultivares, ressaltando que para a cultivar Tumucumaque a associação do déficit hídrico com a inoculação por *M. phaseolina* não impediu o aumento na massa seca, sugerindo maior tolerância dessa cultivar aos danos causados pelo patógeno. Observa-se comportamento contrário para a cultivar Esteio, e acredita-se que maior redução da massa sugere maior sensibilidade dessa cultivar ao patógeno.

A associação entre irrigação intermitente e inoculação promoveu menores incrementos em comprimento de raiz e massas secas independente para cultivar Esteio, entretanto as cultivares Guariba e Tumucumaque apresentaram recuperação no período florescimento, sugerindo maior tolerância da espécie ao déficit hídrico e inoculação de *M. phaseolina*. Comportamento semelhante foram observados por Mayek-Pérez et al. (2002) com feijão-comum, que ao avaliarem respostas de crescimento de *Phaseolus vulgaris* inoculado com *M. phaseolina* sob déficit hídrico com suspensão da irrigação 20

dias após a semeadura, verificaram decréscimo do crescimento vegetativo, e atribuíram esse resultado ao efeito negativo na divisão celular e nas taxas de expansão. Do Vale et al. (2012) também observou redução de crescimento radicular em resposta ao déficit hídrico induzido 15 dias após o florescimento em cultivares de feijão-comum.

O número de folhas da cultivar Guariba das plantas inoculadas e sob irrigação intermitente superou as não inoculadas no período florescimento, demonstrando alta capacidade de recuperação dessa cultivar. Para a cultivar Tumucumaque não houve influência da inoculação e condição de irrigação sobre o número de folhas por planta. Essa característica aumentou ao longo do período experimental e pode ser explicada pelo crescimento e desenvolvimento das plantas. Para a Esteio a inoculação de forma isolada promoveram redução do número de folhas, o que pode-se atribuir ao fato de que, a presença da doença pode ter ocasionado queda das folhas, por causar destruição do sistema radicular da planta (ABAWI e PASTOR-CORRALES, 1990; IQBAL e MUKHTAR, 2014).

Sob deficiência hídrica a planta é induzida, tanto a reduzir o tamanho das folhas, como a diminuir a sua emissão. Além disso, uma menor disponibilidade hídrica pode levar à redução na expansão celular e na área foliar, aumento na abscisão foliar e diminuição da parte aérea, o que também se observa no presente estudo (BASTOS et al., 2012; DE OLIVEIRA et al., 2015).

A área foliar foi menor na condição de déficit hídrico para Tumucumaque e Esteio corroborando com os resultados de feijão-caupi.

A cultivar Esteio apresentou maior sensibilidade a inoculação do patógeno, entretanto os feijões-caupi (Guariba e Tumucumaque) apresentaram boa tolerância a inoculação de *M. phaseolina* uma vez que mantiveram e até mesmo aumentaram a área foliar quando estressadas pelo patógeno, independente da condição de irrigação.

A atividade da POD foi maior nas raízes do que nas folhas de todas as cultivares avaliadas principalmente nos tratamentos com inoculação por *M. phaseolina*. Segundo Viecelli et al. (2010), a alteração na atividade da peroxidase é correlacionada a suscetibilidade ou resposta de resistência em diversos patossistemas. Esta enzima, segundo Resende et al. (2007), é responsável por catalisar a oxidação de álcoois fenólicos à lignina, fazendo com que ocorram mudanças na parede celular e proporcionando maior resistência contra as toxinas que são liberadas pelos patógenos. Sendo assim, poderíamos atribuir a maior atividade enzimática apresentada nesse trabalho a respostas protetivas da planta a inoculação, por ser uma doença que provoca lesões radiculares.

Outro fator que pode-se atribuir a maior atividade enzimática tanto para peroxidase nas raízes quanto para superóxido dismutase das folhas e raízes é ao fato dessas enzimas fazerem parte do sistema antioxidante das plantas, com a função de inibir diversos radicais livres, conhecidas como espécies reativas de oxigênio (EROs). As EROs, normalmente são produzidas em situações de estresse ambiental, como por exemplo o déficit hídrico. Provavelmente, neste estudo, o déficit hídrico associado a inoculação por *M. phaseolina* foram responsáveis por causarem alguma desordem oxidativa nas cultivares de feijão, perturbando o redox celular, e conseqüentemente elevando a produção das espécies reativas de oxigênio, que são altamente citotóxicas e podem dar origem a danos nas proteínas, lipídeos e ácidos nucleicos, causando, por exemplo, a peroxidação das membranas e a perda de íons (SCHÜTZENDÜBEL e POLLE, 2002; GUO et al., 2007; DEUNER et al., 2011). Ressalta-se que a elevação da atividade dessas enzimas proporcionou efeito protetivo a ponto delas poderem se recuperar após a normalização da disponibilidade hídrica.

Para tamanho de lesão radicular (cm), não ocorreu interação com as condições de irrigação. Enquanto que para a porcentagem de tecido lesionado (%) foi observada interação apenas para cultivar Esteio, no período suspensão da irrigação, plantas sob irrigação intermitente apresentaram maior área radicular lesionada nessa época, porém não foi observada diferença significativa na época de florescimento. Esses resultados podem ser explicados devido a época de indução do déficit hídrico. Como já relatado, a severidade do patógeno *M. phaseolina* é intensificada em condição de déficit hídrico e altas temperaturas. Neste trabalho a suspensão da irrigação ocorreu 27 dias após a semeadura, as plantas já estavam bem desenvolvidas, e as infecções já haviam ocorrido, estando a doença já em desenvolvimento, assim, pode-se sugerir que por conta do desenvolvimento das plantas, as cultivares toleraram a inoculação do patógeno. Vale lembrar que as cultivares Guariba e Tumucumaque mesmo com lesões no sistema radicular apresentaram incrementos significativos em comprimento e massa seca de raiz e parte aérea, diferente dos resultados apresentados para Esteio que demonstrou redução nessas características na mesma condição.

As maiores lesões no sistema radicular foram observadas na cultivar Guariba, corroborando com o resultado de Wrather et al. (2008), que avaliou diferentes genótipos de soja inoculados com *M. phaseolina*, e concluiu que a maior colonização do sistema radicular pelo patógeno ocorreu nos genótipos mais tolerantes a seca, como também observado neste trabalho. As cultivares de feijão-caupi toleraram melhor a doença por

apresentarem maior rusticidade na condição de déficit hídrico mesmo apresentando tamanho de lesão significativo.

A abscisão foliar após a imposição do déficit hídrico foi apresentada por todas as cultivares. No entanto com menor severidade na cultivar Guariba sendo outro parâmetro que sugere a rusticidade e tolerância dessa espécie a deficiência hídrica.

A abscisão foliar é desencadeada pelo aumento na concentração de etileno no interior celular na condição estressante de déficit hídrico, à princípio a abscisão é um recurso de defesa dos vegetais para diminuir a perda de água por meio da transpiração para a atmosfera. Cabe lembrar que antes de iniciar o processo de abscisão outras reações protetivas são desencadeadas como redução na condutância estomática e transpiração como visto no capítulo I. Em situação de déficit hídrico a tendência é que ocorra redução da parte aérea, o que atenua a perda de água para o meio, e investimento em sistema radicular que favorece a melhor exploração do solo para obtenção de água, no presente estudo foi observado menor acúmulo de massa seca de parte aérea e aérea foliar nas plantas sob irrigação intermitente para todas as cultivares, entretanto não foi observado incremento em acúmulo de massa seca de raiz. Ainda são escassos os trabalhos que avaliaram o efeito do déficit hídrico associado a *M. phaseolina* em feijão, os quais poderiam corroborar com os resultados encontrados neste trabalho.

CONCLUSÃO

As cultivares de feijão-caupi, Guariba e Tumucumaque apresentaram maior tolerância ao déficit hídrico e conseqüentemente a inoculação por *M. phaseolina*. Essas cultivares conseguiram manter estável suas características de crescimento e quando reduzidas, foi observada recuperação dos parâmetros na época de florescimento.

A Esteio apresentou maior sensibilidade a suspensão da irrigação e a inoculação por *M. phaseolina*, demonstrando que o feijão-comum comparado ao feijão-caupi é mais sensível a condições estressantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAWI, G. S.; PASTOR-CORRALES, M. A. **Root rots of bean in Latin America and Africa: Diganosis, Research Methodologies, and Management Strategies.** Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 114 p. 1990.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G., LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ATHAYDE SOBRINHO, C.; VIANA, F. M. P.; SANTOS, A. A Doenças fúngicas e bacterianas. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 463-484.

BABU, B.K.; REDDY, S.S.; YADAY, M.K.; SUKUMAR, M.; MISHRA, V. S.; AXENA, A.K.; ARORA, D.K. Genetic diversity of *Macrophomina phaseolina* isolates from certain agro-climatic regions of India by using RAPD markers. **Indian Journal of Microbiol**, v.50, n. 2, p.199-204, 2010.

BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; DE ANDRADE JÚNIOR, A. S.; DO NASCIMENTO, F. N.; CARDOSO, M. J. **Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico**. Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE). 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e abastecimento. SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Manual de análise sanitária de sementes**. Mapa/ACS, 2009.

BROETTO, F.; LEONARDO, M.; VILLAS BÔAS, R. L.; ALMEIDA, R. S.; MARCHESE, J. A; REGINA, M.; TONIN, F. B. Respostas bioquímicas durante a indução de estresse salino em plantas de pimentão cultivadas em sistema fertirrigado. **ABH Horticultura**, Anais CBO, 2004.

CARVALHO, E. M. S.; BESERRA JR., J. E. A.; BARGUIL, B. M. Lima Bean Diseases. In: LOPES, A. C. A.; GOMES, R. L. F.; ARAUJO, A. S. F. **Phaseolus lunatus. Diversity, Growth and Production**. 1. ed. Nova Science Publishers, Inc., 2015. p. 1–16.

CAVALCANTI, F. R.; OLIVEIRA, J. T. A.; MARTINS-MIRANDA, A. S.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities do not confer protection against oxidative damage in salt-stressed cowpea leaves. **New Phytologist**, v. 163, n. 3, p. 563-571, 2004.

DE OLIVEIRA, S. R. M., DE ANDRADE JÚNIOR, A. S., RIBEIRO, V. Q., DE BRITO, R. R., & CARVALHO, M. W. **Interação de níveis de água e densidade de plantas no crescimento e produtividade do feijão-caupi, em Teresina, PI**. Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE). 2015.

DO VALE, N. M.; BARILI, L. D.; ROZZETO, D. S.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; KÖOP, M. M. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 135-144. 2012.

DEUNER, C., DE SOUZA MAIA, M., DEUNER, S., DA SILVA ALMEIDA, A., & MENEGHELLO, G. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n. 4. 2011.

FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas** (Statistical Analysis Software) e planejamento de Experimentos – SISVAR 5.3. Lavras: UFLA, 2010.

- FIGLIANO, S. L.; PIVETTA, L. G.; FANO, A.; MACGADO, F. R.; GUIMARÃES, V.F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 58, n.3, p. 342-349, 2011.
- FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses, **Plant Cell** n. 17, p. 1866-1875, 2005.
- GIANNOPOLITIS, C.N., RIES, S.K., 1977. Superoxide dismutases, I: occurrence in higher plants. **Plant Physiol.** 59, 309-314.
- GILL, S. S. Amelioration of cadmium stress in crop plants by nutrients management: Morphological, physiological and biochemical aspects. **Plant Stress**. n. 5(Special Issue 1), v.1, p.1-23, 2011.
- GONÇALVES, E. R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.
- GOUDARZI, S.; BANIHASHEMI, Z.; MAFTOUN, M. Effect of salt and water stress on root infection by *Macrophomina phaseolina* and ion composition in shoot in sorghum. **Iran Journal Plant Pathology**, v. 47, n. 3, p. 69-83, 2011.
- GUO, T. R.; ZHANG, G. P.; ZHANG, Y. H. Physiological changes in barley plants under combined toxicity of aluminum, copper and cadmium. **Colloids and Surfaces: Biointerfaces**, v. 57, n. 2, p. 182-188, 2007.
- IQBAL, U.; MUKHTAR, T. Morphological and pathogenic variability among *Macrophomina phaseolina* isolates associated with mungbean (*Vigna radiata* L.) Wilczek from Pakistan. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1-9, 2014.
- JALEEL, C. A.; GOPI, R.; SANKAR, B.; GOMATHINAYAGA, M.; PANNEERSELVAM, R. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 1, p. 42-47, 2008.
- JONG van LIER, Q. Índices da disponibilidade de água às plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. eds. **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p.95-106.
- MAIA, P. S. P.; FERREIRA NETO, C.; CASTRO, D. S.; FREITAS, J. M. N.; LOBATO, A. K. S.; COSTA, R. C. L. Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 918-920, 2007.
- MARTINS, L. L.; MOURATO, M. P. Alterações no metabolismo de plantas em meios contaminados por metais pesados: stresse oxidativo. **Revista Agros**, v. 8, p. 6, 2008.

MAYEK, N.; GARCÍA, R.; LÓPEZ, C.; ACOSTA, J. A.; SIMPSON, J. Water relations, histopathology and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) During pathogenesis of *Macrophomina phaseolina* under drought stress. **Physiological and molecular plant pathology**. (FIGURA 10D). v.60, p. 185-195. 2002.

McDOWELL, N. G.; BEERLING, D. J.; BRESHEARS, D. D. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 26, n. 10, p. 523-532, 2011.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**. 2 ed. Imprensa Universitária, 2005. 399 p.

MIORINI, T. J. J. **Produtividade do feijoeiro sob supressão de irrigação em diferentes fases fenológicas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2012.

MUCHERO, W.; EHLERS, J. D.; CLOSE, T. J.; ROBERTS, P. A. Genic SNP markers and legume synteny underlying QTL for *Macrophomina phaseolina* resistance and maturity in cowpea.pdf. **BMC Genomics**, v. 12, n. 8, p. 1–14, 2011.

PÜTTER, J. Peroxidases. In: Bergmeyer, H. U. (Ed). Methods of enzymatic analysis. 2.ed. **Academic Press**, v. 2. p. 688. 1974.

RAIJ B. V. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. IAC, 1996.

RESENDE, M. L. V.; BARRETI, P. B.; MEDEIROS, F. C. L.; SILVA, D. D.; PEREIRA, R. B.; LINS, S. R. O.; PEREIRA, L. M.; CAMPOS, M. A. Percepção e transdução de sinais para a ativação de respostas de defesa em plantas contra patógenos. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.15, p.173-242, 2007.

SCHÜTZENDÜBEL, A.; POLLE, A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 1, p. 1351- 1365, 2002.

SIMIDU, M. H. S, M. E., DOMINGUES DE SOUZA, L. C., DE LIMA, F., PINA DA SILVA, M.; ARF, OET AL. Efeito do adubo verde e época de semeadura sobre a produtividade do feijão, em plantio direto em região de cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 2, 2010.

SONGA, W.; HILLOCKS, R. J.; MWANGO'MBES, A.; BURUCHARA, R.; RONNO, W. K. Screening common bean accessions for resistance to charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) in eastern Kenya. **Experimental Agriculture**, v. 33, p. 459-468, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6.ed. ARTMED, 2017.888 p.

VIECELLI, C. A.; STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Indução de resistência em feijoeiro a mancha angular por extratos de micélio de *Pycnoporus sanguineus*. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.1, p.73-80, 2010.

WRATHER, J. A.; SHANNON, J. G.; CARTER, T. E.; BOND, J. P.; RUPE, J. C.; ALMEIDA, A. M. R. Reaction of drought-tolerant soybean genotypes to *Macrophomina phaseolina*. **Plant health progress**, v. 9, n. 1, p. 16. 2008.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as respostas obtidas neste trabalho as cultivares de feijão-caupi (cultivares Guariba e Tumucumaque) apresentaram maior tolerância ao déficit hídrico e a inoculação do patógeno em relação a cultivar de feijão-comum (cultivar Esteio), porém no primeiro experimento a cultivar Guariba apresentou para as trocas gasosas maior sensibilidade nos tratamentos sob inoculação de *M. phaseolina*. Enquanto que no segundo experimento, não foi observado decréscimos nos parâmetros de crescimento, contudo elevada atividade enzimática, demonstrando alta resposta protetiva as condições de estresse, que permitiu que essa cultivar apresentasse os melhores resultados, ou seja, maior tolerância a seca e a podridão de carvão.

Para a cultivar de feijão-comum foram observadas as respostas esperadas. Por essa espécie ser mais exigente em água e conseqüentemente mais susceptível a doenças, a cultivar Esteio apresentou menor rendimento para os parâmetros avaliados tanto para as características fisiológicas quanto para crescimento, sendo menos tolerante a seca e a podridão de carvão.