

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

***Bacillus* spp. ALIVIA O EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O
METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO E DE PROTEÇÃO DA SOJA**

DIEGO PEREIRA
RIAN ALEX LOPES JANSE

Dourados, MS

2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DIEGO PEREIRA
RIAN ALEX LOPES JANSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Agronomia da
Universidade Federal Da Grande Dourados
(UFGD).

Orientador: Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Coorientadora(a): Profa. Dra. Silvana de P. Q.
Scalon

Dourados, MS

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

P436b Pereira, Diego
Bacillus sp. ALIVIA O EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O METABOLISMO
FOTOSSINTÉTICO E DE PROTEÇÃO DA SOJA [recurso eletrônico] / Diego Pereira, Rian Alex
Lopes Janse. -- 2024.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Cleberton Correia Santos .
Coorientador: Silvana de P. Q. Scalon.
TCC (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Bacillus aryabhatai. 2. fotossistema II. 3. trocas gasosas. 4. peroxidase. 5. pós-estresse. I.
Lopes Janse, Rian Alex . II. Santos, Cleberton Correia. III. Scalon, Silvana De P. Q.. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

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

Bacillus spp. ALIVIA O EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO E DE PROTEÇÃO DA SOJA

Por

Diego Pereira

Rian Alex Lopes Janse

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Aprovado em: 01 de Julho de 2024.

Documento assinado digitalmente
 **CLEBERTON CORREIA SANTOS**
Data: 16/07/2024 18:31:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos

Orientador – UFGD-FCA

Documento assinado digitalmente
 **JESSICA ALINE LINNE**
Data: 16/07/2024 16:13:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Jéssica Aline Linné

Membro da Banca – UFGD-FCA

Documento assinado digitalmente
 **JULIANA MILENE SILVERIO**
Data: 16/07/2024 16:26:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Juliana Milene Silverio

Membro da Banca – UFGD-FCA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por tudo que ele me proporcionou ao longo da minha caminhada tanto dentro como fora da universidade, por cuidar sempre de mim e da minha família para que eu pudesse estar bem emocionalmente para lidar com todas as preocupações da faculdade.

Quero agradecer imensamente a minha família, meu pai Dagoberto Pereira, minha madrasta, Valéria Brandalhione Evangelista e minhas irmãs Caroline Pereira, Emanuely Brandalhione, Valentina Pereira, Helena Pereira, Camila Pereira e minha vó Vinilda Schnaider Pereira, por todo apoio tanto emocional, quanto financeiro e por nunca terem medido esforços para me ajudar a caminhar, crescer e conquistar meus sonhos, não só no período acadêmico, como em toda minha vida.

Também gostaria de agradecer a todos os demais membros da minha família que de alguma forma influenciaram na minha caminhada de vida e formação.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, que desde o início sempre se mostrou disponível, paciente, atencioso e empenhado em nos ensinar e transmitir seus conhecimentos da melhor forma possível.

Ao meu grande amigo conquistado dentro da universidade Rian Alex Lopes Janse, pela amizade, companheirismo e por sempre estar ao meu lado durante toda a caminhada acadêmica.

A todos os amigos que conquistei durante a graduação, principalmente João Paulo De Castro Souza e Luis Guilherme Rodrigues Macedo, que também estiveram sempre ao meu lado tornando este período de formação mais alegre, leve e tranquilo e a todos os membros do grupo GEEP, pelo auxílio no desenvolvimento das atividades desenvolvidas na universidade.

Diego Pereira

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por me dar oportunidade, saúde e condições para chegar aonde estou, por ter cuidado de mim e me ajudado a vencer todos os desafios que encontrei por essa jornada

Agradeço aos meus pais Dirk Johannes Janse e Luzia Lopes Janse pela força e todo apoio fornecido durante meu tempo aqui, a todo incentivo financeiro e emocional onde nunca me faltou nada, permitindo que alcançasse meus sonhos e mesmo nas maiores dificuldades sempre estiverem presentes para meu amparo

Ao nosso orientador Prof. Dr. Cleberton Correia Santos por ter aceitado orientar o nosso trabalho de pesquisa, pelo conhecimento passado que certamente levarei para a vida por sempre estar à disposição e muito paciente nesse processo, nos apoiando a todo momento.

Ao meu grande amigo de infância e faculdade Diego Pereira, pela amizade, companheirismo e parceria, sendo considerado por mim um irmão de vida nessa jornada

Aos meus amigos João Paulo de Castro Souza e Luis Guilherme Rodrigues Macedo, pela caminhada que passamos juntos nesse período de faculdade, agradeço pela confiança, luta e as boas conversas juntamente dos ótimos conselhos

A todos os integrantes do Grupo de Estudos em Ecofisiologia de Plantas por contribuírem com o nosso projeto e pela disposição em nos ajudar nas atividades.

A UFGD por nos proporcionar essa experiência, pela sua estrutura fornecida, agradeço também os técnicos e os demais funcionários que mantêm

Rian Alex Lopes Janse

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. A soja.....	3
2.2. Déficit hídrico.....	4
2.3. Bactérias mitigadoras de estresse	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	6
3.2. Aplicação das rizobactérias	7
3.3. Condições de cultivo , fases e períodos de avaliação	7
3.4. Avaliações.....	8
3.5. Análise de dados	10
4. RESULTADOS	11
4.1. Teor de água nas folhas	11
4.2. Transporte de elétrons e índice de clorofila.....	11
4.3. Fluorescência da clorofila a e atividades fotoquímicas	12
4.4. Trocas gasosas	15
4.5. Crescimento de plantas	19
4.6. Metabolismo de proteção.....	20
4.7. Aparência geral das plantas	22
5. DISCUSSÃO	24
6. CONCLUSÃO.....	30
7. REFERÊNCIAS.....	31

***Bacillus* spp. ALIVIA O EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO E DE PROTEÇÃO DA SOJA**

RESUMO

O uso de bactérias como as do gênero *Bacillus* spp. tem demonstrado eficiência em atuar na homeostase do metabolismo foliar sob condições adversas. Entretanto, pouco se conhece a respeito da dosagem destas substâncias e seu papel na soja. Objetivamos avaliar o efeito de doses de Mix de *B. aryabhatai*, *B. haynesii* e *B. circulans* sobre o metabolismo fotossintético e de proteção da soja durante e após o déficit hídrico. As plantas foram cultivadas nas seguintes condições: I) controle: irrigação diariamente, II) déficit hídrico (DH): suspensão da irrigação (SI), e DH com III) 100 mL ha⁻¹ e IV) 200 mL ha⁻¹ do *Bacillus* spp. As avaliações foram realizadas no tempo zero, 3 e 6 dias de SI na fase estresse e aos 5 e 10 dias de retomada da irrigação (DRI) (pós-estresse). Em cada período foram avaliadas as características do transporte de elétrons, aspectos fotoquímicos e as trocas gasosas, e ao final de cada fase, ou seja aos 6 DSI e 10 DRI avaliamos o conteúdo relativo de água, crescimento, proteínas totais e atividades enzimáticas. Observamos redução no teor de água e na taxa de transporte de elétrons nas plantas em DH, refletindo negativamente nas atividades fotoquímicas nos centros de reação do fotossistema II, especialmente aos 6 DSI, mas as rizobactérias favoreceram valores mais elevados na fase de estresse e no pós-estresse. A aplicação de 200 mL ha⁻¹ de mix de *Bacillus* spp. contribuiu na regulação da fotossíntese, eficiência do mesófilo e de carboxilação aos 3 e 6 DSI, contribuindo em maior área foliar na fase estresse. Entretanto no pós-estresse todas as plantas retomaram o metabolismo fotossintético, especialmente aquelas com 100 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp. A aplicação de rizobactérias foi determinante e contribuiu na mitigação dos efeitos negativos do déficit hídrico durante e após a exposição ao fator estressante. Sendo assim uma estratégia promissora para a manutenção das produtividades quando submetidas as condições de estresse por déficit hídrico

Palavras-chave: *Bacillus aryabhatai*, fotossistema II, trocas gasosas, peroxidase, pós-estresse.

***Bacillus* spp. ALIVIA O EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO SOBRE O METABOLISMO FOTOSSINTÉTICO E DE PROTEÇÃO DA SOJA**

ABSTRACT

The use of bacteria such as those of the genus *Bacillus* spp. has demonstrated efficiency in acting on the homeostasis of leaf metabolism under adverse conditions. However, little is known about the dosage of these substances and their role in soy. We aimed to evaluate the effect of doses of Mix of *B. aryabhattai*, *B. haynesii* and *B. circulans* on the photosynthetic and protective metabolism of soybeans during and after water deficit. The plants were grown under the following conditions: I) control: daily irrigation, II) water deficit (DH): suspension of irrigation (SI), and DH with III) 100 mL ha⁻¹ and IV) 200 mL ha⁻¹ of *Bacillus* spp. The evaluations were carried out at time zero, 3 and 6 days of SI in the stress phase and at 5 and 10 days of resumption of irrigation (DRI) (post-stress). In each period, the characteristics of electron transport, photochemical aspects and gas exchange were evaluated, and at the end of each phase, that is, at 6 DSI and 10 DRI, we evaluated the relative water content, growth, total proteins and enzymatic activities. We observed a reduction in water content and electron transport rate in DH plants, negatively reflecting on photochemical activities in photosystem II reaction centers, especially at 6 DSI, but rhizobacteria favored higher values in the stress phase and post -stress. The application of 200 mL ha⁻¹ of *Bacillus* spp. contributed to the regulation of photosynthesis, mesophyll efficiency and carboxylation at 3 and 6 DSI, contributing to greater leaf area in the stress phase. However, post-stress, all plants resumed photosynthetic metabolism, especially those with 100 mL ha⁻¹ of *Bacillus* spp. The application of rhizobacteria was decisive and contributed to mitigating the negative effects of water deficit during and after exposure to the stressor. Therefore, it is a promising strategy for maintaining productivity when subjected to stress conditions due to water deficit.

Keywords: *Bacillus aryabhattai*, photosystem II, gas exchange, peroxidase, post-stress.

1. INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma planta de importância econômica mundial com múltiplos usos. Na safra 2023/2024 as projeções apontam para produção de 162,42 milhões de toneladas, mantendo o Brasil como o maior produtor de soja do mundo (CONAB, 2023). Entretanto, nos últimos anos a safra de soja tem sido afetada pelas mudanças climáticas globais, acompanhadas de estiagens prolongadas em várias regiões no Brasil, tornando-se uma condição estressante e preocupante ao cenário econômico, de modo a comprometer a morfofisiologia das plantas.

O déficit hídrico é um fator preocupante a produtividade agrícola, uma vez que a soja é altamente exigente em água (JAHAN et al., 2023). Em condição de restrição de água, geralmente ocorre redução da produção de ATP e NADPH devido a menor capacidade de transferência de elétrons nos fotossistemas (BADR; BRUGGEMANN, 2020; SZYMAŃSKA et al., 2017), prejudicando as trocas gasosas e o crescimento das plantas. Desta forma, caso haja ocorrência de uma superprodução de espécies reativas de oxigênio, (substâncias associadas aos elétrons livres que tendem a aumentar o estresse oxidativo). haverá o comprometimento da integridade celular junto do aparato fotossintético (DINIS et al., 2018; RYODEN et al., 2020).

Portanto, a adoção de práticas agronômicas que possam aliviar os efeitos estressantes da seca é necessária e promissora para indução da tolerância a essas condições. O uso de bioinsumos, tal como as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) tem aumentado e sido um tema discutido por fisiologistas e profissionais da área relacionada, como estratégia de aliviar os efeitos estressores e manter a homeostase das plantas. Dentre as BPCP com potencial benéfico relatado na literatura (ETESAMI et al., 2023), as do gênero *Bacillus* spp. são bastante estudadas, mas ainda carecem de informações técnicas para a cultura da soja no âmbito da fisiologia do estresse, especialmente quanto a recomendação de doses desse bioinsumo.

Desta forma as espécies *Bacillus aryabhatai*, *B. haynesii* e *B. circulans* têm sido amplamente estudadas por conferirem maior tolerância à seca, através da síntese de enzimas como a 1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminase (ACC) que reduz os efeitos do etileno e produz exopolissacarídeos, além de atuar na nutrição das plantas (OJUEDERIE; OLANREWAJU; BABALOLA, 2019), regulando a homeostase metabólica.

Além disso, as bactérias do gênero *Bacillus* favorecem o crescimento radicular e auxiliam no alívio do estresse hídrico por contribuírem na eficiência no uso da água, mantendo a turgescência mesmo sob condições adversas (YOO et al., 2019). A interação *Bacillus*-planta estimula a síntese de fitohormônios necessários para o crescimento (SHAFFIQUE et al., 2023), além de contribuir na eficiência de carboxilação do CO₂, desempenhando a função de hidrocapacitor e indutor no metabolismo de proteção (VIVAS et al., 2003; PARK et al., 2017; SAXENA et al., 2020). Entretanto, para o mix contendo *Bacillus aryabhatai*, *B. haynesii* e *B. circulans* não há informações suficientes e esclarecidas quanto ao seu papel e funcionamento na cultura em condição de restrição hídrica e pós-estresse.

Hipotetizamos que a aplicação de rizobactérias do gênero *Bacillus* podem aliviar o efeito estressante do estresse por déficit hídrico e contribuir na recuperação da soja, regulando o metabolismo fotossintético e dos ajustes enzimáticos. Assim, objetivamos estudar o efeito de doses de mix de *Bacillus aryabhatai*, *B. haynesii* e *B. circulans* sobre o metabolismo fotossintético e de proteção da soja durante e após o déficit hídrico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A soja

A soja (*Glycine max* L., Fabaceae) é uma cultura anual de verão amplamente disseminada no mundo com vasta diversidade de uso. Foi descoberta na Ásia e adaptada para diversas regiões incluindo o Brasil onde se consolidou após a necessidade do farelo de soja como insumo para produção de frango e suíno, sendo hoje uma das principais *commodities* produzidas no mundo (EMBRAPA, s/a).

Essa planta faz parte da família das leguminosas que são capazes de fixarem nitrogênio e produzirem fruto do tipo legume, (NEUMAIER et al., 2020). Além disso, a soja é classificada com metabolismo C₃, altamente exigente em água e nutrientes com necessidade hídrica diária de até 7 a 8 mm/dia e em média de 450 a 800 mm/ciclo (NEUMAIER et al., 2020; EMBRAPA, 2021).

Atualmente o Brasil é o maior e principal produtor de soja no mundo, sendo responsável por 154,566 milhões das 369,029 milhões de toneladas que são produzidas no mundo. (CONAB, 2023). É interessante ressaltar que 60,7% do volume produzido é direcionado ao mercado exterior (EMBRAPA, 2023) no qual a China assume o papel de protagonista, sendo responsável por 72% de toda a soja exportada, o que corresponde a 66,608 milhões de toneladas no ano de 2023, o que é 32% a mais do que o volume exportado no ano de 2022. Os outros 28% ficam distribuídos com o restante da Ásia juntamente a União Europeia e demais países (ABIOVE, 2023).

O potencial produtivo da cultura da soja está em torno de 200 sacas/ha e seu potencial atingível está acima de 100 sacas.ha¹, tendo em vista que a média nacional não ultrapassa 60 sacas.ha⁻¹, destacamos que ainda há gargalos a serem explorados visando aumentar a eficiência agrofisiológica (CESB, 2023; BATTIST et al., 2018).

Nesse sentido, é necessário adotar estratégias que possam potencializar o metabolismo foliar e o crescimento das plantas de soja. Para isso é necessário manter a taxa fotossintética elevada, visto que é o processo responsável pelo crescimento e produtividade líquida (SOUZA et al., 2022).

Entretanto, nos últimos anos as mudanças climáticas vem sendo um fator agravante na produtividade, onde verifica-se comumente o predomínio de estiagens prolongadas acompanhadas de aumentos de temperatura, prejudicando o metabolismo da planta, e reduzindo seu potencial produtivo. Assim, para que ocorra fotossíntese é necessário que haja disponibilidade suficiente de água a fim de manter o funcionamento dos processos metabólicos (MEDERSKI, 2019).

Neste contexto, para entender o foco da planta de soja, enfatizamos que o primeiro órgão da planta a se formar da semente é a radícula, onde nos primeiros 30 dias de ciclo da cultura é possível observar que os entrenós da soja são mais curtos, ou seja menor desenvolvimento de parte aérea, pois há prioridade nesta fase é desenvolvimento do sistema radicular profundo e eficiente na captação da água (BATTIST et al., 2017), de modo a garantir que este recurso vital seja disponível nos estádios de florescimento, produção de frutos e enchimento de grãos..

2.2. Déficit hídrico

A água além de ser responsável pela produtividade, é o recurso de termorregulação da planta, uma vez que quando os estômatos estão abertos, a água passa a ser perdida em forma de vapor, o que gera um potencial eletroquímico de pressão negativa, fazendo com que a água entre pelas raízes, processo essencial para manter o equilíbrio dela, onde a maior parte da água absorvida é direcionada a evapotranspiração, correspondendo a 98% da utilização da mesma e apenas uma pequena parcela é efetivamente utilizada (0,2%) na fotossíntese (ANDA et al., 2020). Desta maneira, a água responsável pelo processo de termorregulação realiza o resfriamento e a distribuição do calor, com isso podemos observar que ela está diretamente ligada com o desenvolvimento da planta, além de ser essencial tanto na germinação quanto no enchimento de grãos (ZHANG et al., 2020).

O estômato, por ser uma célula multissensorial pode responder ao déficit hídrico, o que induz o fechamento celular, dificultando a entrada de CO₂ e consequentemente reduzindo a taxa fotossintética em função da menor eficiência de carboxilação o que se deve as menores concentrações deste gás em relação ao oxigênio. Assim a enzima RuBisCO que possui afinidade com ambos os gases, trabalha com o aumento da fotorrespiração e consequente redução do processo de fotossíntese (JUMRANI e BHATIA, 2019).

A fotorrespiração é um mecanismo das plantas C₃ reduzirem a quantidade de elétrons e impedirem a formação de radicais livres, alguns deles como o peróxido ou os superóxidos, os quais são moléculas que destroem as membranas das células, resultando na liberação de eletrólitos, e logo com seu acúmulo chegando a fotoinibição e consequentemente a morte vegetal (OGREN, 2022).

2.3. Bactérias mitigadoras de estresse

Os microrganismos sempre estiveram presentes e por isso possuem uma relação de longa data com a planta. Neste sentido as bactérias do gênero *Bacillus* são importantes no contexto agrônômico para a mitigação do estresse hídrico, promovendo tolerância a seca (EMBRAPA, 2021).

Bacillus spp. são bactérias hidroceptoras, capazes de formarem um biofilme através de substâncias poliméricas extracelulares, servindo como película (MAURYA et al., 2022). Os exopolíssacarídeos produzidos por estas bactérias podem apresentar atividades diferentes, como por exemplo antimicrobiana, antioxidante e quelação de substâncias (VIDHYALAKSHMI et al., 2016; ABDEL LATEF et al., 2020).

Além disso, a utilização de *Bacillus aryabhatai* + *Bacillus haynesii* + *Bacillus circulans* melhora a qualidade da planta, podendo reduzir a adubação com fertilizantes o que funciona como alternativa sustentável e de menor impacto ambiental (DOS PASSOS et al., 2023).

Podemos ressaltar que os *Bacillus* spp. melhoram a produção de hormônios e outros metabólitos secundários, desta forma papel importante no aspecto de metabolismo de proteção e indução da tolerância ao estresse abiótico (BHAT et al., 2022), tornando-se uma ferramenta de manejo promissor na agricultura frente as adversidades climáticas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Condições gerais

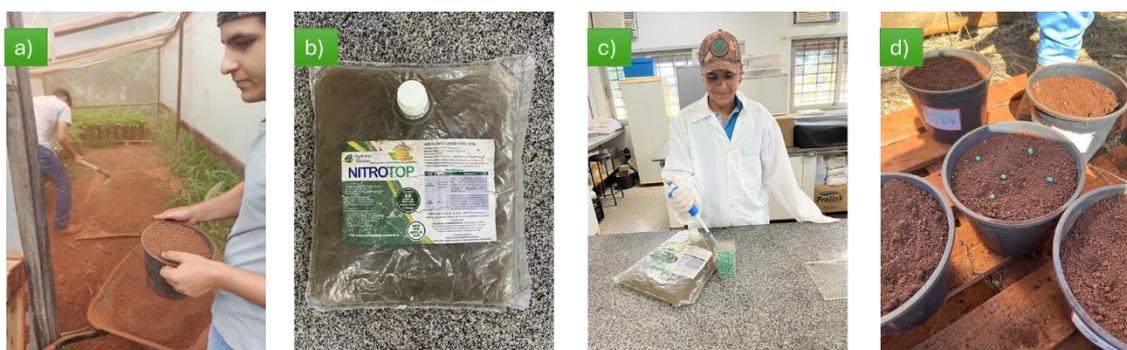
O experimento foi desenvolvido em ambiente com cobertura superior e lateral de plástico de alta densidade de 150 micras para evitar precipitações pluviométricas (Figura 1). Foi realizada a semeadura de cinco sementes de soja cv. MONSOY 6410 em vasos plásticos de 4 kg previamente preenchidos com Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa, com os seguintes atributos químicos (Tabela 1):

TABELA 1. Análise de atributos químicos e granulometria do solo utilizado no experimento.

Análise de atributos químicos do solo							
pH H ₂ O	K cmol/dm ³	P (mg/dm ³)	Ca cmol/dm ³	Mg cmol/dm ³	H+Al cmol/dm ³	Al cmol/dm ³	V%
5,8	0,46	2,68	7,1	2,4	5	0,21	66,6
CTC pH 7	Mat. Org g/dm ³	S mgSO ₄ /dm ³	Mn mg/dm ³	Fe mg/dm ³	Cu mg/dm ³	Zn mg/dm ³	B mg/dm ³
14,96	27,33	0,69	622,09	17,31	30,65	0,02	0,12
Granulometria							
Teor de Argila		Teor de areia		Teor de silte			
48,76%		44,56%		6,68%			

Fonte: autores.

No momento da semeadura, foi realizada a inoculação com bactérias *Bradyrhizobium elkani* e *B. japonicum* com 1×10^8 mL (Unidades Formadoras de Colônias - UFC mL⁻¹), via tratamento de sementes (150 mL kg semente⁻¹ conforme recomendação do fabricante) utilizando micropipeta, e mantido 80% da capacidade de retenção de água (CRA) conforme metodologia de SOUZA et al. (2000). Decorridos 10 dias após a semeadura (DAS), foi realizado o desbaste deixando duas plantas por vaso.



Fonte: autores

FIGURA 1. Implantação do experimento. a) preparo do solo; b) bioinsumo (*Bradyrhizobium*); c) inoculação *Bradyrhizobium*; d) semeadura em vaso

3.2. Aplicação das rizobactérias

Ao atingir o estágio V4, o que ocorreu aos 18 DAS, parte das plantas receberam aplicação via foliar de duas doses (100 e 200 mL ha⁻¹) de um produto contendo Mix de três estirpes de rizobactérias: *Bacillus aryabhatai*, *B. haynesii* e *B. circulans*, com 1×10^{11} Unidades Formadoras de Colônias (UFC) L⁻¹, além de lipases, proteases, açúcares e carboidratos em sua composição conforme especificações do fabricante. A aplicação foi realizada no período matutino, utilizando pulverizador costal pressurizado com CO₂, acoplado em barra com quatro bicos de pulverização tipo leque (Jacto AXI-11-02) espaçados em 0,5 m, cuja pressão foi regulada para 41 PSI (Libras por polegada ao quadrado) e o volume de calda foi ajustado para 200 L ha⁻¹.

3.3. Condições de cultivo , fases/ e períodos de avaliação

Decorridos 32 dias após semeadura (DAS), as plantas foram divididas em quatro grupos de condições de cultivo: I) controle, irrigação realizada diariamente mantendo 80% da CRA no solo de acordo com metodologia de SOUZA et al. (2000), II) déficit hídrico (DH), caracterizado pela suspensão total da irrigação (SI), III) DH + B1, correspondendo as plantas que previamente receberam 100 mL ha⁻¹ do Mix de bactérias e submetidas a SI e IV) DH + B2, correspondendo a aplicação de 200 mL ha⁻¹ e submetidas a SI. Aos 25 DAS foi realizada adubação de manutenção com cloreto de potássio (72 kg ha⁻¹ de K₂O).

As avaliações não destrutivas e destrutivas foram realizadas em duas fases: a) estresse, caracterizado pelo momento em que as plantas foram submetidas as condições estressantes, apresentando taxa fotossintética (A) próximo ou igual a zero (nulo) por meio do monitoramento a cada 3 dias, ou seja, tempo zero (T0, período antes da suspensão da irrigação), e aos períodos de 3 e 6 dias de suspensão da irrigação (DSI). Posteriormente, após esse período, as plantas foram submetidas a segunda fase, denominada de pós-estresse, no qual todas as plantas foram submetidas a dias de retomada da irrigação (DRI) mantendo 80% da CRA até que as plantas previamente submetidas a condição estressante apresentassem valor de $A \geq 70\%$ ao valor das plantas controle, com avaliações aos períodos 5 e 10 dias de retomada da irrigação (DRI).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, no qual os tratamentos foram arranjados em esquema de subparcelas, alocando os períodos de avaliação de cada fase nas parcelas e as condições de cultivo nas subparcelas, com quatro repetições, sendo que cada unidade experimental foi constituída por um vaso com duas plantas. As fases aqui denominadas de estresse e pós-estresse não foram comparadas estatisticamente.

3.4. Avaliações

As avaliações do índice de clorofila, fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas foram realizadas nas folhas totalmente expandidas localizadas no terço médio, entre as 8 e 11 horas.

a) Índice de clorofila: determinado utilizando o clorofilômetro portátil SPAD (*Soil Plant Analyzer Development*) (Konica Minolta SPAD 502).

b) Fluorescência da clorofila *a*: as folhas foram submetidas a condição de escuro, com cliques foliares durante 30 minutos para que os centros de reação se encontrassem totalmente abertos (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989). Após esse período, foi determinada a emissão da fluorescência inicial (F_0) e eficiência quântica potencial fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m), com fluorômetro portátil OS p 30 (Opti-Sciences Chlorophyll Fluorometer, Hudson, USA). A partir desses dados, foi calculada a eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0) e o rendimento máximo basal dos processos não fotoquímicos (F_0/F_m). A taxa de transporte de elétrons (TTE) foi calculada com base na proposta de Laisk e Loreto (1996), e os resultados expressos em $\mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

c) Trocas gasosas: foi quantificada a taxa de assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração intercelular de CO_2 (C_i , $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ ar}^{-1}$), utilizando sistema portátil de análise de gás por infravermelho (IRGA) – LCI Pro-SD ADC Bio Scientific Ltd, e posteriormente calculada a eficiência intrínseca de carboxilação da Rubisco (A/C_i , $\mu\text{mol mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a eficiência do mesofilo (C_i/g_s , $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (AGNIHOTRI et al., 2009).

As determinações do teor de água nas folhas, de crescimento, proteínas totais e atividade da enzimática foram avaliadas apenas ao final de cada fase, ou seja, aos 6 DSI e 10 DRI durante o estresse e pós-estresse, respectivamente.

d) Teor de água foliar: foi calculado conforme metodologia proposta por Turner et al. (1981).

e) Crescimento: foi determinada a área foliar (cm^2) utilizando integrador de área (LICOR, 3100 C – Área Meter), e as folhas foram pesadas em balança de precisão milesimal; posteriormente, foram acondicionadas em estufa com circulação forçada de ar à 60 ± 5 °C durante 72 horas, resultados expressos em g planta^{-1} .

f) Proteínas totais: utilizando o material fresco previamente congelado em N líquido determinou-se o conteúdo de proteínas totais de acordo com a proposta de Bradford (1976). A leitura da absorbância foi realizada no comprimento de onda de 595 nm, utilizando espectrofotômetro (Metash V5000), resultados expressos em $\text{mg g}^{-1} \text{MF}^{-1}$.

g) Atividade enzimática: as folhas foram acondicionadas em N líquido, e 0,3 g por amostra foi macerada em 6 mL de solução, contendo 0,3 g polivinilpirrolidona (PVP) diluída em 100 mL de solução tampão de fosfato de potássio (0,2 M). Posteriormente, as amostras foram centrifugadas à 12000 rpm durante 20 minutos e o sobrenadante foi utilizado como extrato enzimático. A determinação da atividade da peroxidase e superóxido dismutase foi determinada conforme metodologia de Broetto (2014) e a leitura realizada em comprimento de onda de 470 e 560 nm, respectivamente, em espectrofotômetro (Metash V-5000), e os resultados expressos em $\mu\text{mol mg}^{-1} \text{proteína min}^{-1}$ e $\mu\text{g MF}^{-1}$, respectivamente.



FIGURA 2. a) Amostra macerada; b) medição da área foliar; c) avaliação com fluorímetro e SPAD; d) centrifugação de amostras; e) avaliação com IRGA.

3.5. Análise de dados

Os dados foram analisados por fase (estresse e pós-estresse), não comparando-as estatisticamente, e submetidos à análise de variância, e quando significativos (teste F, $p \leq 0.05$). As características não destrutivas foram analisadas em diferentes períodos em cada fase, enquanto as características destrutivas foram analisadas apenas ao final de cada fase. Na fase de estresse, as médias dos efeitos isolados e das interações foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$) \pm erro padrão para as condições de cultivo e períodos de avaliação (T0, 3 e 6 DSI). Na fase de pós-estresse, as médias dos efeitos isolados e das interações foram comparadas pelo teste de Tukey para condições de cultivo e t de Bonferroni para períodos de avaliação (5 e 10 DRI), ambas a $p \leq 0.05$ \pm erro padrão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* SISVAR.

4. RESULTADOS

4.1. Teor de água nas folhas

O teor de água foliar (TA) nas plantas de soja foi influenciado pelas condições de cultivo na fase de estresse, no qual os maiores valores (74,45 e 54,13%) foram observados nas plantas controle e nas que receberam 200 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp., respectivamente, diferindo estatisticamente das demais condições (Figura 3a), enquanto que no pós-estresse não houve variação estatística entre os tratamentos (Figura 3b).

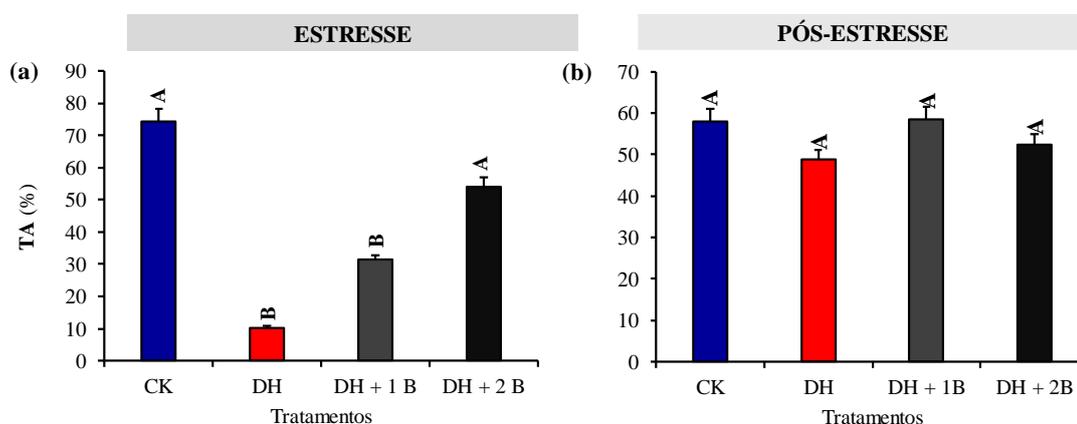


FIGURA 3. Teor de água foliar (TA) em plantas de soja em função da aplicação ou não de *Bacillus* spp. na fase de estresse (a) e no pós-estresse (b). Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão.

4.2. Transporte de elétrons e índice de clorofila

A taxa de transporte de elétrons (TTE) foi influenciada pela interação entre os fatores na fase estresse e pelos fatores isolados no pós-estresse. O índice de clorofila foi influenciado pelos fatores isoladamente na fase de estresse, e apenas pelas condições de cultivo no pós-estresse. Na fase de estresse, no tempo zero as plantas a serem expostas ao DH e que receberam aplicação de *Bacillus* spp. tiveram menores valores de TTE em comparação às CK, enquanto que aos 6 DSI as plantas com *Bacillus* spp. tiveram maiores valores do que aquelas sob DH sem rizobactérias (Figura 4a). No pós-estresse, os maiores valores de TTE ($242,0 \mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ocorreram aos 10 DRI (Figura 4d) e nas plantas CK ($196,3 \mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) diferindo apenas daquelas previamente submetidas ao DH sem rizobactérias, que tiveram menor valor ($150,89 \mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 4e).

Quanto ao índice de clorofila, os maiores valores ocorreram nas plantas que receberam 100 mL de *Bacillus* spp. diferindo daquelas em DH sem aplicação de rizobactérias (Figura 4b) e aos 6 DSI (Figura 4c), ambas na fase estresse. No pós-estresse, os maiores valores foram observados nas plantas CK e nas previamente submetidas ao DH com 200 mL de *Bacillus* spp. (Figura 4f).

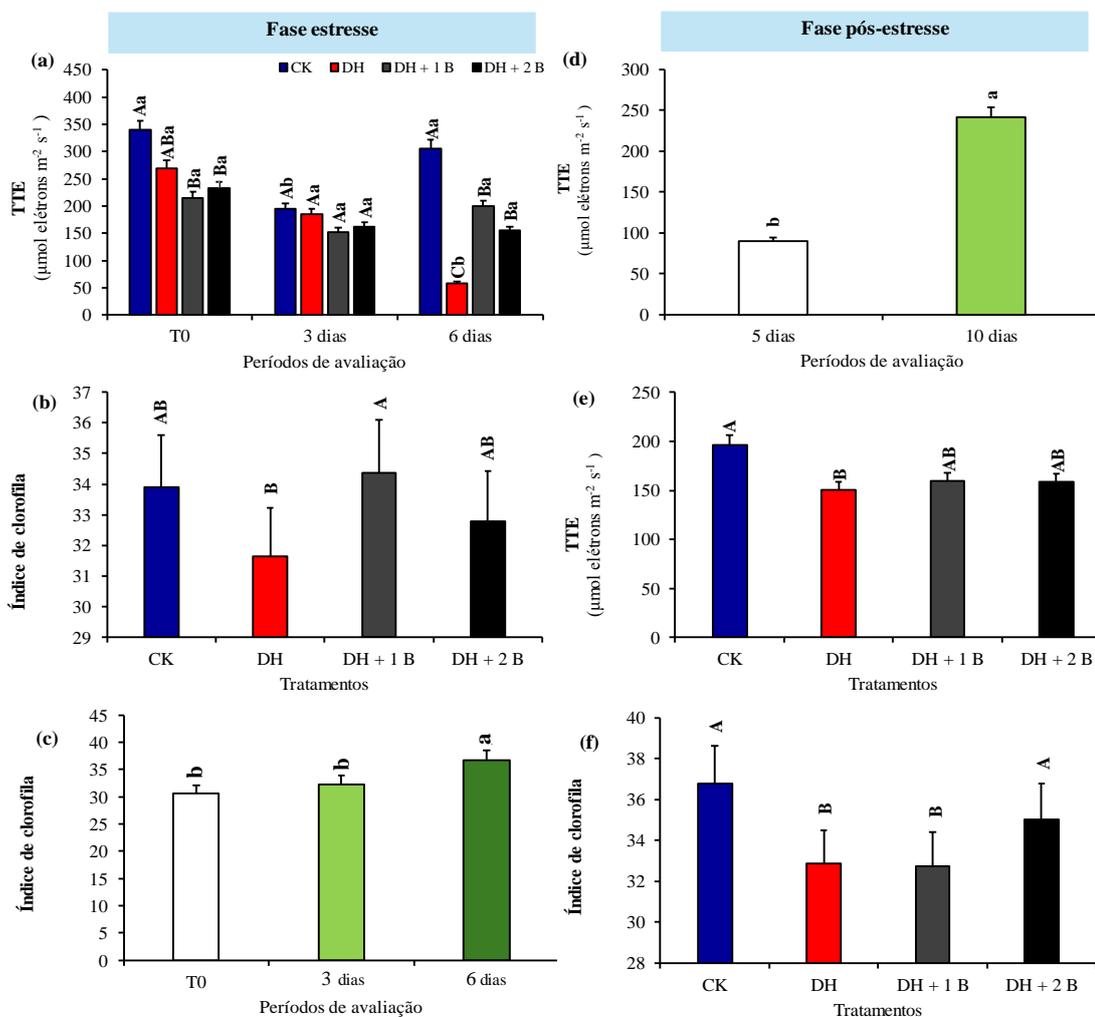


FIGURA 4. Taxa de transporte de elétrons – TTE (a, d, e,) e índice de clorofila (b, c, f) em plantas de soja em função da aplicação ou não de *Bacillus* spp. e submetidas ao déficit hídrico na fase ao estresse e pós-estresse. (d, e, f) Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias e as minúsculas os períodos de avaliação pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão na fase de estresse. (a, b, c) Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e as minúsculas os períodos de avaliação pelo teste t de Bonferroni ($p \leq 0,05$) na fase de pós-estresse.

4.3 Fluorescência da clorofila *a* e atividades fotoquímicas

O rendimento máximo basal dos processos não fotoquímicos (F_0/F_m), eficiência de conversão de energia absorvida (F_v/F_0) e a eficiência quântica potencial

fotoquímica no fotossistema II (F_v/F_m) foram influenciadas pela interação entre os fatores em estudo na fase de estresse e condições de cultivo na fase pós-estresse, enquanto a fluorescência inicial da clorofila *a* foi influenciada pelos tratamentos nas duas fases (Figura 5).

Os valores de F_0/F_m aumentaram de maneira acentuada nas plantas sob DH sem rizobactérias aos 6 DSI (Figura 5a), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Na fase pós-estresse as plantas previamente em DH e DH + 200 mL ha⁻¹ tiveram maiores valores e diferiram das plantas CK (Figura 5e). Para F_v/F_0 na fase de estresse as plantas CK apresentaram os maiores valores em T0 e 6DSI, enquanto aos 6 DSI as plantas que receberam 100 e 200 mL ha⁻¹ de mix de *Bacillus* spp. mantiveram valores mais elevados do que as sem rizobactérias, que tiveram menor valor (Figura 5b).

Os valores de F_v/F_m aos 6 DSI tiveram comportamento semelhante a F_v/F_0 na mesma época (6 DSI) (Figura 5c). No pós-estresse, os maiores valores de F_v/F_0 quanto de F_v/F_m foram observados nas plantas CK e com 100 mL de *Bacillus* spp. (2,65 e 2,22; respectivamente) (Figura 5f e 5g). No que se refere a F_0 os menores valores (0,03525 e 0,04437) foram observados nas plantas CK nas duas fases (Figuras 5d e 5h).

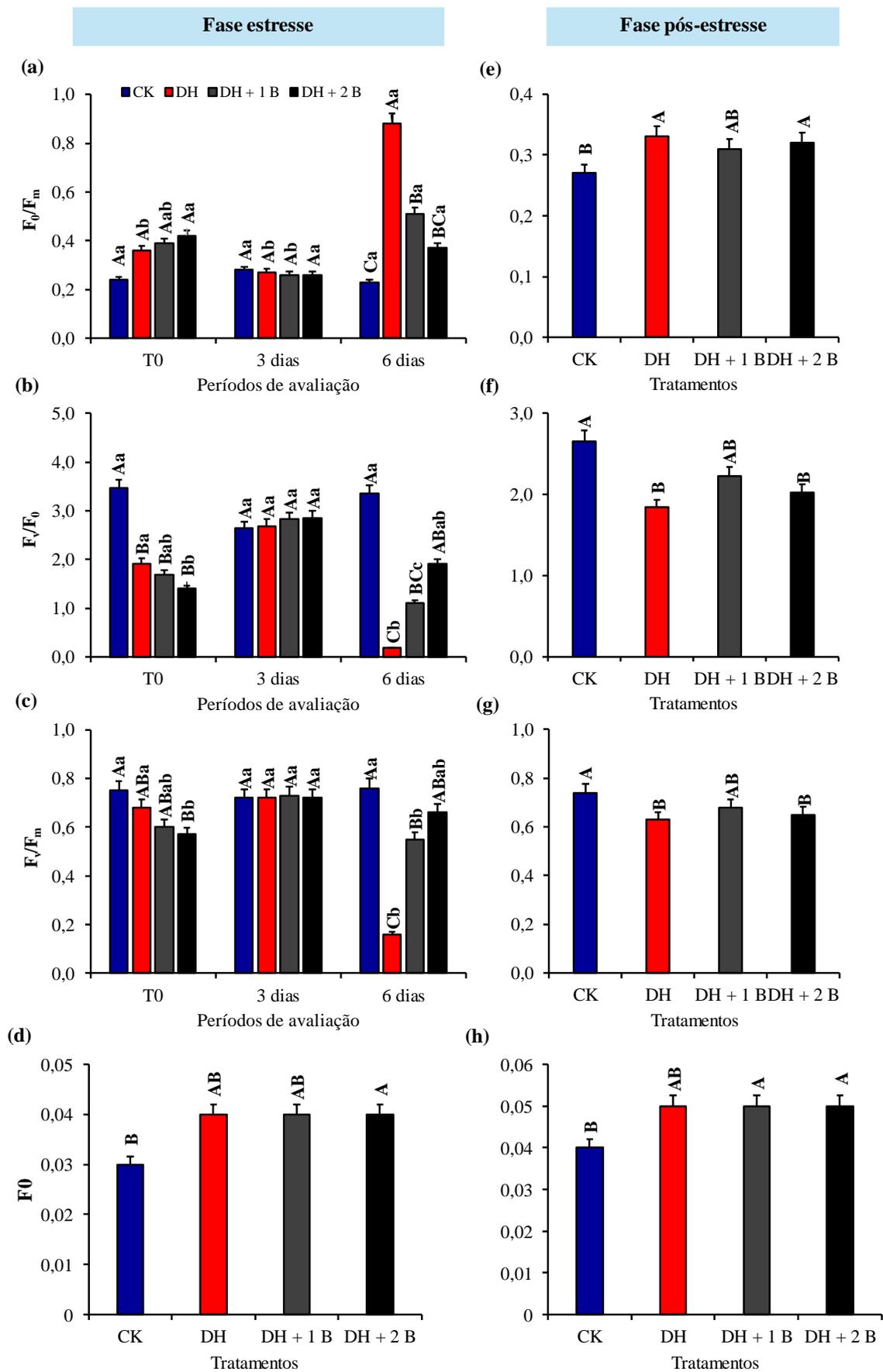


FIGURA 5. Rendimento máximo basal dos processos não fotoquímicos - F_0/F_m (a, e), eficiência de conversão de energia absorvida - F_v/F_0 (b, f), eficiência quântica potencial fotoquímica no fotossistema II - F_v/F_m (c, g) e a fluorescência inicial da clorofila *a* - F_0 (d, h) em folhas de plantas de soja em função da aplicação ou não de *Bacillus* spp. e submetidas ao déficit hídrico na fase ao estresse e pós-estresse. (e, f, g, h) Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias e as minúsculas os períodos de avaliação pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão na fase de estresse. (a, b, c, d) Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) na fase de pós-estresse.

4.4. Trocas gasosas

A taxa fotossintética (A), transpiração (E) e a condutância estomática (g_s) foram influenciadas pela interação das rizobactérias e períodos de avaliação na fase de estresse e pós-estresse (Figura 6). Na fase de estresse, aos 3 DSI as plantas que receberam aplicação de 200 mL de *Bacillus* spp. apresentaram valores de A ($9,97 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) que não diferiram das plantas CK, enquanto nas demais condições os valores reduziram ($4,87$ e $3,07 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) nesse mesmo período, podendo ser observado nas plantas com 100 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp. e nas plantas submetidas ao DH sem *Bacillus* spp., respectivamente (Figura 6a).

Aos 6 DSI, todas as plantas submetidas ao estresse reduziram drasticamente os valores de A , no qual as plantas sem *Bacillus* spp. tiveram valores nulos e as com 100 mL apresentaram $0,28 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto aquelas com 200 mL mantiveram mais elevadas ($1,75 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mantendo $13,89\%$ da taxa fotossintética comparadas as plantas CK (Figura 6a). Na fase de pós-estresse, aos 5 e 10 DRI as plantas apresentaram valores de A semelhante estatisticamente as CK, exceto aquelas com 100 mL de *Bacillus* spp. que apresentaram menores valores em 10 DRI ($7,85 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Figura 6d).

No que se refere aos valores de E e g_s , na fase de estresse as plantas tiveram respostas semelhantes aos de A , ou seja, reduziram aos 3 DSI, mas as plantas que receberam aplicação de 200 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp. se mantiveram mais elevadas, com valores de $1,73 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $0,135 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para E e g_s , respectivamente do aquelas com 100 mL ha^{-1} e sem *Bacillus* spp. Entretanto, aos 6 DSI as plantas com 100 mL ha^{-1} apresentaram comportamento estatisticamente igual a dose de 200 mL ha^{-1} o que não foi observado na mesma época (6 DSI) em A (Figura 6b e 6a).

Para a g_s as plantas cultivadas sob DH independente da aplicação das rizobactérias não apresentaram diferença estatísticas entre elas e foram menores do que as CK aos 6 DSI (Figura 6c). No pós-estresse, aos 5 DRI apenas as plantas previamente

submetidas ao DH sem *Bacillus* tiveram menor g_s ($0,15 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), diferindo estatisticamente das demais condições. Porém, ao 10 DRI as plantas com 100 e 200 mL ha^{-1} apresentaram menores valores, ambos com $0,08 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 6f), no qual este comportamento foi semelhante para E neste mesmo período na fase de pós-estresse.

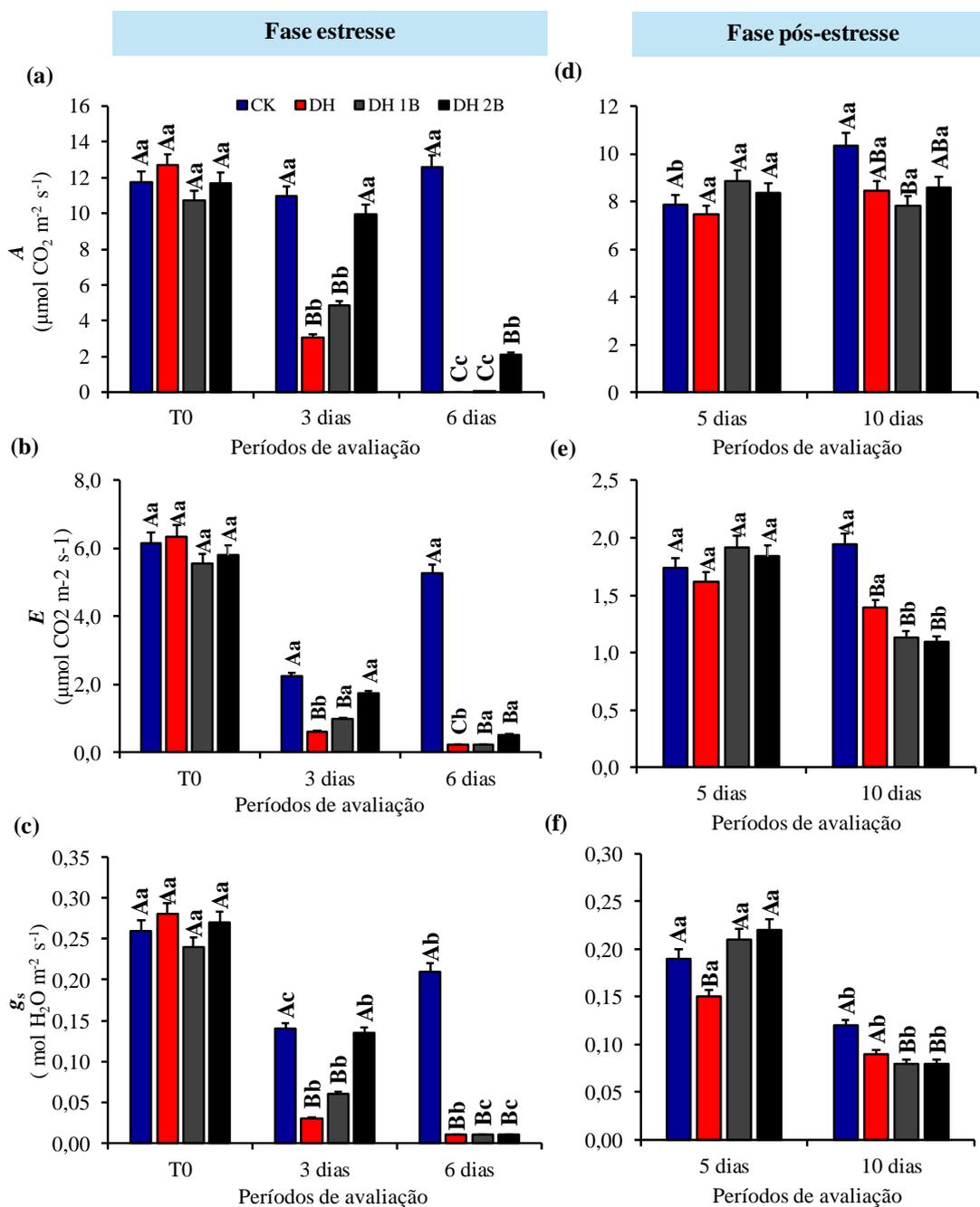


FIGURA 6. Taxa fotossintética - A (a, d), transpiração - E (b, e) e condutância estomática - g_s (c, f) de plantas de soja em função da aplicação ou não de *Bacillus* spp. e submetidas ao déficit hídrico na fase ao estresse e pós-estresse. (a, b, c) Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias e as minúsculas os períodos de avaliação pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão. na fase de estresse. (d, e, f) Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias pelo

teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e as minúsculas os períodos de avaliação pelo teste t de Bonferroni ($p \leq 0,05$) na fase de pós-estresse.

Na fase de estresse a concentração intercelular de CO_2 (C_i) e a eficiência intrínseca de carboxilação (A/C_i) foram influenciadas pela interação entre os fatores em estudo. Com relação ao C_i , verificamos apenas aos 6 DSI houve diferença estatística entre os tratamentos, com maiores valores (549,50 e 521,50 mol $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ ar}^{-1}$) em DH e DH com 100 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp., respectivamente, diferindo estatisticamente das demais condições em que as plantas CK tiveram menores valores (298,75 mol $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ ar}^{-1}$) que as plantas com 200 mL (375,00 mol $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ ar}^{-1}$) (Figura 7a).

Para a A/C_i aos 3 DSI, as plantas CK e aquelas com 200 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp. apresentaram maiores valores (0,0367 $\mu\text{mol mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e 0,0321 $\mu\text{mol mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente), diferindo das demais condições, enquanto aos 6 DSI, houve redução acentuada em todas as plantas submetidas ao DH, mas aquelas com 200 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp. permaneceram mais altas que as demais (Figura 7b). No pós-estresse o maior e menor valor de C_i e A/C_i ocorreu nas plantas aos 5 DRI (Figura 7d e 7e, respectivamente).

A eficiência do mesófilo (C_i/g_s) foi influenciada pela interação entre os fatores em estudo nas duas fases estudadas, no qual embora há tendência de aumento dos valores aos 3 DSI, apenas aos 6 DSI, verificamos diferença estatística entre os tratamentos, com maior valor (52.125,00 $\mu\text{mol mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) nas plantas sob DH sem aplicação de rizobactérias, entretanto as plantas DH + 100 mL ha^{-1} não apresentaram diferença estatística, mas as plantas que receberam aplicação de 200 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp, seguido das plantas CK que apresentaram-se menores valores (Figura 7c), diferindo das plantas sem aplicação do Mix de *Bacillus* spp. No pós-estresse, embora todas as plantas previamente submetidas ao DH reduziram os valores de C_i/g_s , aos 5 DRI aquelas em DH sem rizobactérias permaneceram mais altas do que as demais, e aos 10 DRI todas previamente em DH diferiram estatisticamente das CK aos 10 DRI (Figura 7f).

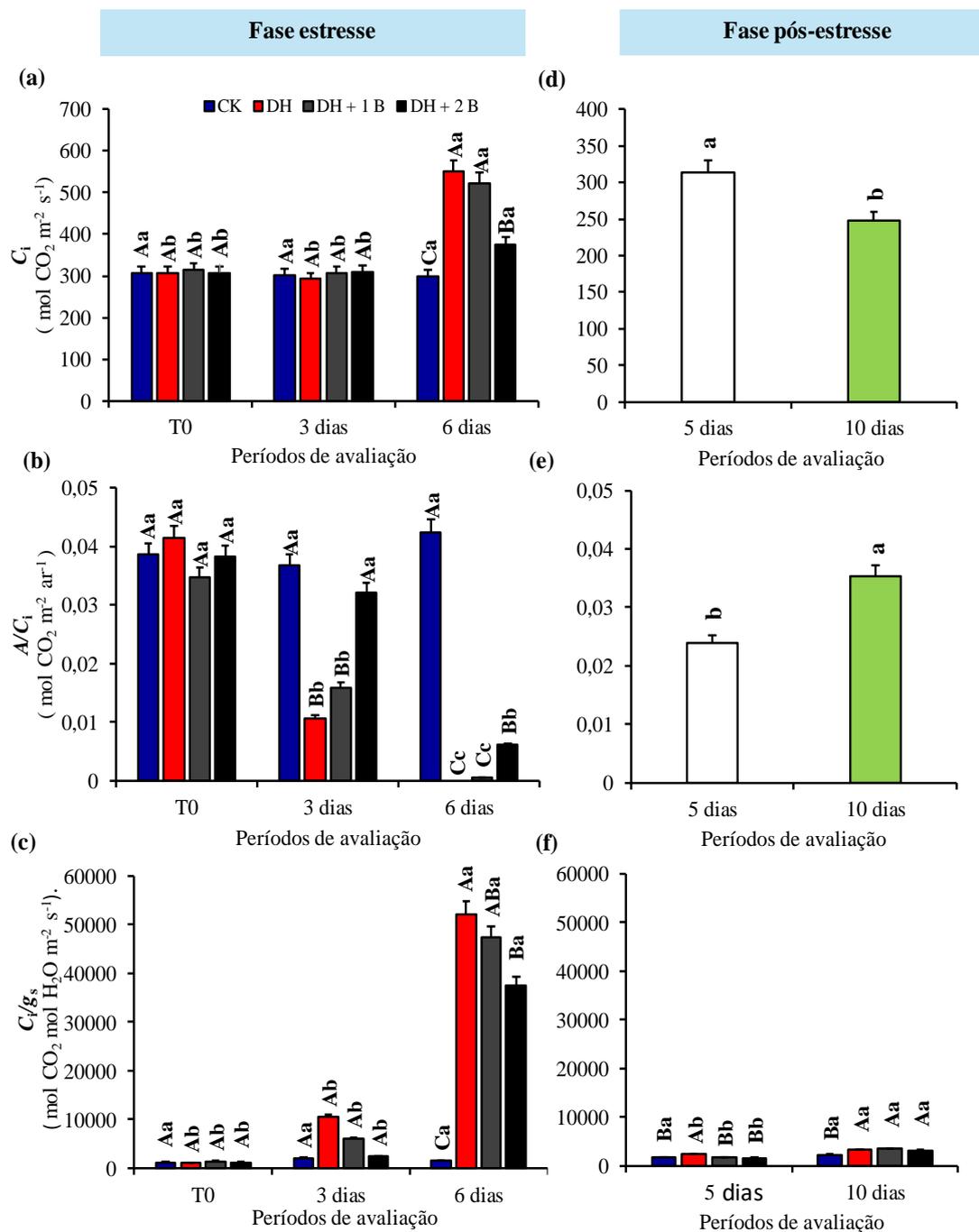


FIGURA 7. Concentração intercelular de CO_2 - C_i (a, d), eficiência intrínseca de carboxilação - A/C_i (b, e) e eficiência do mesófilo - C_i/g_s (c, f) de plantas de soja em função da aplicação ou não de *Bacillus* spp. e submetidas ao déficit hídrico na fase estresse e pós-estresse. (a, b, c) Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias e as minúsculas os períodos de avaliação pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão na fase de estresse. (d, e, f) Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e as minúsculas os períodos de avaliação pelo teste t de Bonferroni ($p \leq 0,05$) na fase de pós-estresse.

4.5. Crescimento de plantas

Embora a área foliar nas plantas submetidas ao DH em comparação as controle tenha reduzido, aquelas que receberam aplicação de 200 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp. mantiveram-se com maior valor (151,39 cm²) na fase de estresse dentre as plantas submetidas a suspensão da irrigação, diferindo das com 100 mL ha⁻¹ e sem aplicação de rizobactérias as quais apresentaram-se menores com valores (Figura 8a). Entretanto, no pós-estresse os maiores valores foram observados nas plantas com 100 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp. (160,15 cm²) não diferindo das controle e das que receberam 200 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp. (Figura 8d). As massas frescas e secas as folhas apresentaram resposta semelhante, sendo influenciada pelos tratamentos na fase de estresse, com menores valores nas plantas submetidas ao DH independente da aplicação das rizobactérias (Figura 8b e 8c), enquanto que no pós-estresse não houve diferença estatística entre os tratamentos (Figura 8e e 8f).

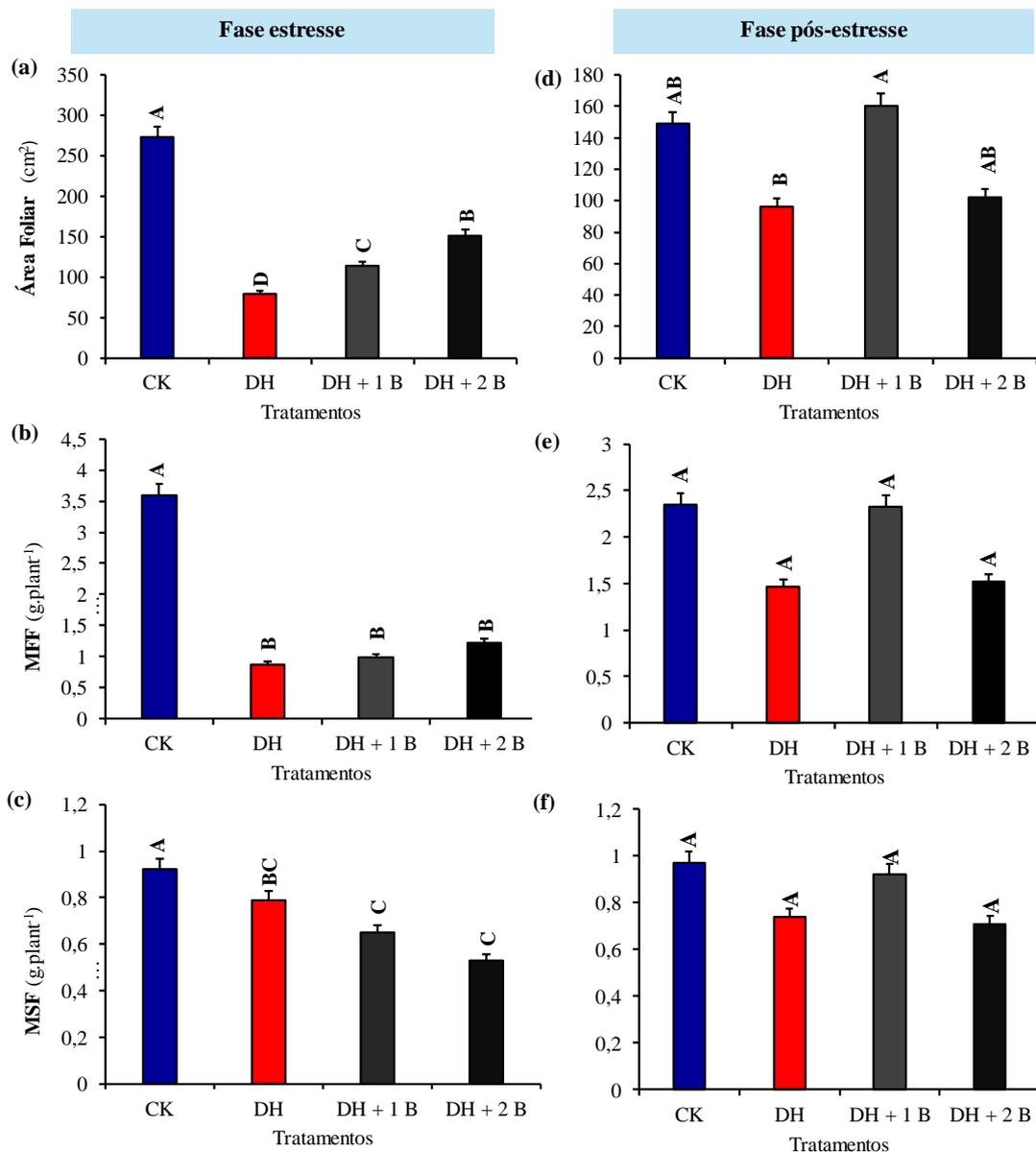


FIGURA 8. Área foliar (a, d), massa fresca (b, e) e seca (c, f) de folhas de plantas de soja em função da aplicação ou não de *Bacillus* spp. e submetidas ao déficit hídrico na fase ao estresse e no pós-estresse. Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão.

4.6. Metabolismo de proteção

O conteúdo de proteínas totais (PROT), atividade das enzimas peroxidase (POX) e superóxido dismutase (SOD) foram influenciadas pelos tratamentos nas duas fases (Figura 9). Os maiores conteúdos de PROT (35,81 e 34,35 mg g⁻¹ MF⁻¹) ocorreram nas plantas sob DH e com 100 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp., respectivamente, diferindo das demais condições na fase de estresse (Figura 9a). No pós-estresse, as plantas previamente

em DH sem rizobactérias apresentaram maiores valores ($24,52 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}^{-1}$), diferindo apenas daquelas com 100 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp. que tiveram menor valor (Figura 9d).

No que se refere a POX, as plantas cultivadas sob DH sem rizobactérias e com 100 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp. tiveram maiores valores ($0,1280$ e $0,1155 \text{ } \mu\text{mol mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$) e o menor valor ($0,0136 \text{ } \mu\text{mol mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$) foi observado nas plantas com 200 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp. na fase de estresse (Figura 9c). Na fase de pós-estresse, as plantas com 200 mL ha^{-1} tiveram maior valor ($0,0247 \text{ } \mu\text{mol mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$), diferindo estatisticamente daquelas com 100 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp. com menor valor ($0,0165 \text{ } \mu\text{mol mg}^{-1} \text{ proteína min}^{-1}$) (Figura 9e).

A resposta para a atividade da SOD foi inversa ao da POX, no qual as plantas que receberam 200 mL ha^{-1} de *Bacillus* spp. e as controle tiveram maiores valores da atividade dessa enzima, respectivamente (Figura 9b e 9c). Na recuperação as plantas de 100 mL ha^{-1} apresentaram maior valor, diferenciando-se das sem rizobactérias as quais foram inferiores (Figura 9f).

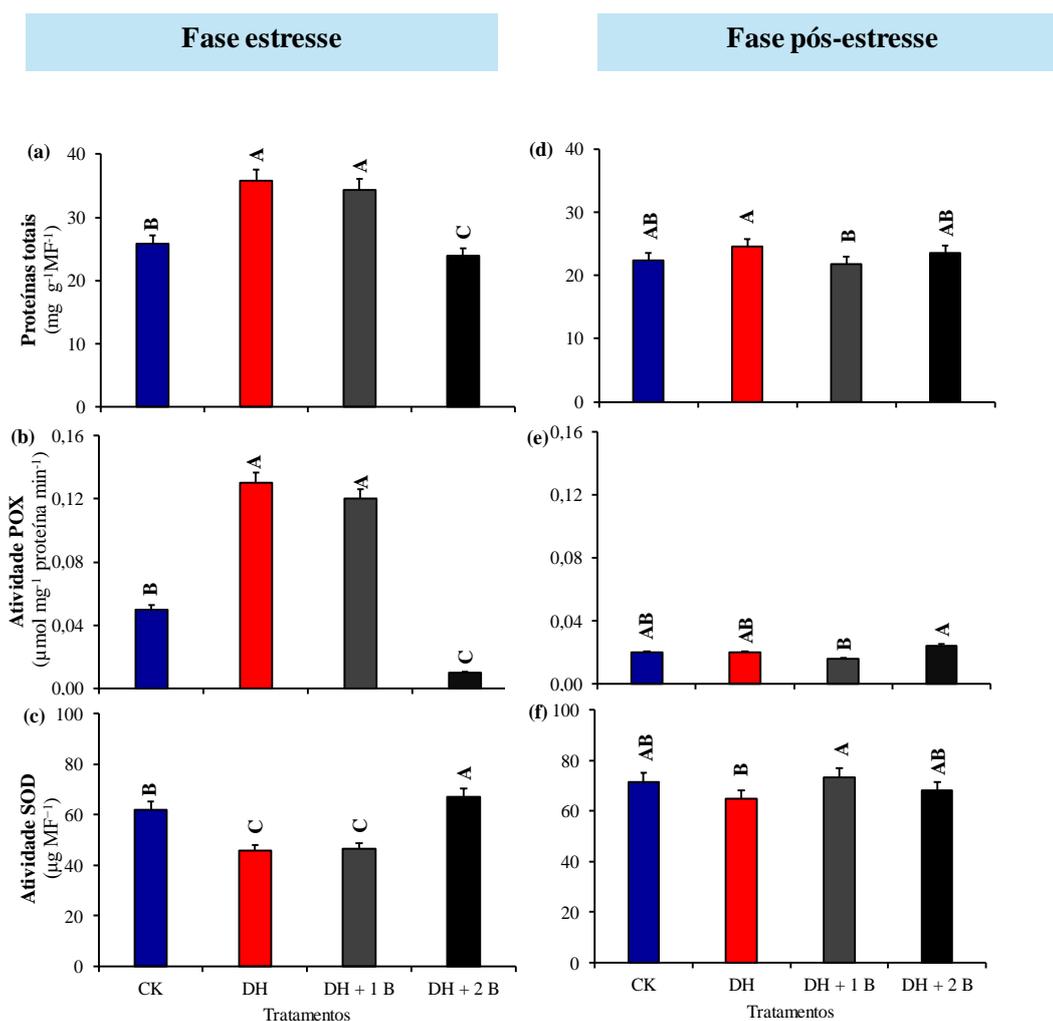
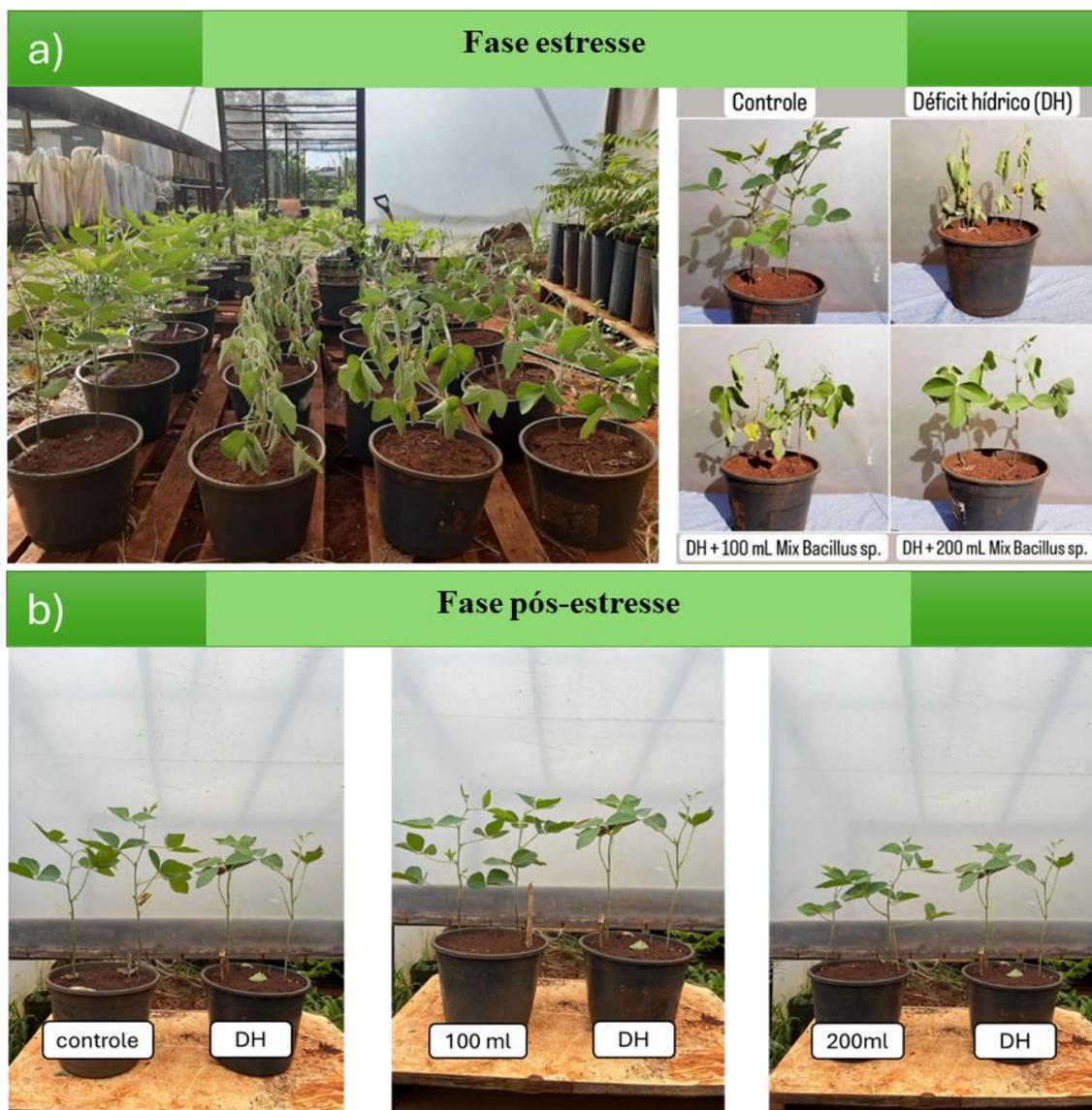


FIGURA 9. Proteínas totais (a, d) , atividade peroxidase – POX (b, e) e atividade da superóxido dismutase – SOD (c, f) em função da aplicação ou não de *Bacillus* spp. e submetidas ao déficit hídrico na fase ao estresse e no pós-estresse. Letras maiúsculas comparam o uso das rizobactérias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) \pm erro padrão.

4.7. Aparência geral das plantas

Na fase de estresse, as plantas cultivadas sob DH sem rizobactérias apresentaram perda de turgescência com ápice curvado e as folhas em ponto de murcha temporário acentuado em comparação as plantas nas demais condições, especialmente aquelas que receberam aplicação de 200 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp. que ainda tinham melhor aspecto visual em termos de vigor (Figura 10a). No pós-estresse todas as plantas retomaram a turgescência, mas aquelas com 100 e 200 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp. apresentaram visualmente melhor vigor e área foliar do que as previamente submetidas ao DH sem rizobactérias (Figura 10b).



Fonte: autores

FIGURA 10. Aspecto visual das plantas em função da aplicação ou não de *Bacillus* spp. e submetidas ao déficit hídrico na fase ao estresse (a) e no pós-estresse (b).

5. DISCUSSÃO

Nossos resultados demonstraram que a soja é responsiva e sensível ao déficit hídrico, pois reduziu drasticamente o metabolismo fotossintético, além do crescimento das plantas e mudanças na atividade enzimática do metabolismo antioxidante, assim reforçando nossa hipótese inicial. Além disso, verificamos a hipótese de que a aplicação das rizobactérias, aqui representada pelo MIX com *B. aryabhatai*, *B. haynesii* e *B. circulans* atuou na indução da tolerância, mitigando os efeitos negativos decorrentes do déficit hídrico, além de contribuir na recuperação de maneira mais eficiente. Ressalta-se ainda que em geral, a soja apresenta potencial de plasticidade fenotípica, uma vez que foi verificado valores próximos entre as condições de cultivo, embora às características de crescimento visual tenham mínima diferença para as plantas sem aplicação das rizobactérias, resultado na retomada do metabolismo e da turgescência das plantas no pós-estresse.

Neste contexto, destacamos que em condições de baixa disponibilidade hídrica no solo, uma das primeiras respostas das plantas é a queda do potencial hídrico do tecido, podendo ocasionar a cavitação e afetar diretamente a turgescência da planta (LI et al., 2020; SCHNEIDER et al., 2020), como observado no aspecto visual das plantas e na redução do TA, especialmente aquelas submetidas ao déficit hídrico sem rizobactérias. Por outro lado, a manutenção do TA das plantas dosadas com 200 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp. está associada ao seu potencial hidrocapacitor, além de melhorar o crescimento do sistema radicular, favorecendo sua absorção e manutenção das relações hídricas e do potencial de turgor (YOO et al., 2019; TAMILSELVI et al., 2022). Similarmente, Castelo et al. (2023) verificaram que a inoculação de *Bacillus* spp. contribuiu na manutenção do conteúdo de água e eficiência em plantas de *Zea mays* L.

Assim, observamos que a aplicação das doses de mix de *Bacillus* spp. atuou na atividade do metabolismo enzimático, afetado pela capacidade dessas bactérias em estimular a produção de hormônios vegetais essenciais para o desenvolvimento e crescimento radicular (SHAFFIQUE et al., 2023). Dessa forma, melhorando o balanço dessas substâncias e aumentando a eficiência da evapotranspiração devido a correta garantia de absorção de água e nutrientes nestas condições, em função da menor concentração de ácido abscísico, assim permitindo a abertura dos estômatos. Além disso, as bactérias do gênero *Bacillus* possuem característica de auxiliar no metabolismo de

proteção, fornecendo substâncias eficientes em mitigar o déficit hídrico (EMBRAPA, 2017; SAXENA et al., 2020).

Entretanto na fase de pós-estresse, os valores do TA de todas as plantas previamente submetidas ao déficit hídrico aumentaram, indicativo de recuperação, o que está relacionado à plasticidade fenotípica da cultura. Essa capacidade de adaptação é um fator inerente as plantas de soja (POUDEL et al., 2023; ELMERICH et al., 2024), o que refletiu no aumento dos valores das trocas gasosas nesta fase, especialmente da A e A/C_i . No entanto, algumas características do metabolismo não normalizaram, indicando possíveis danos irreversíveis.

Desta forma, a maior eficiência na utilização da água por parte das plantas associadas as bactérias resultaram na maior eficiência do fotossistema II (CHAUHAN et al., 2023). Onde a redução da disponibilidade no solo e na planta, refletido pelo TA, prejudica a produção de substrato energético. Nessa condição, a pouca atividade da fotólise da água é ineficiente, reduzindo o bombeamento de H^+ e a produção de ATP e $NADPH_2$ (BUCZEK et al., 2022; RAZI et al., 2021), fazendo com que a energia incidente seja pouco aproveitada e convertida em química, conseqüentemente refletindo em redução do transporte de elétrons e eficiência nos centros de reação do FS II, como observado em nosso estudo para F_v/F_m .

Logo a utilização de *Bacillus aryabhatai* tem demonstrado uma abundância de genes relacionados a funções celulares básicas, como transporte e metabolismo de aminoácidos, carboidratos e íons inorgânicos, produção de energia, biogênese celular e mecanismos de sinalização (DENG et al., 2022). Como observado em Mun et al (2024) o aumento dos metabólitos, incluindo aminoácidos, desempenham um papel crítico na manutenção da fisiologia normal em condições basais e induzidas. Neste contexto o fornecimento pronto dessas substâncias reduz o gasto energético das plantas fazendo com que ela seja mais bem utilizada, uma vez que esses metabólitos estão prontamente disponíveis.

Em condições como observadas nas plantas DH, ocorre redução da energia absorvida e aumento na dissipação desta energia a medida que o TA é reduzido, acarretando na diminuição da taxa de transporte de elétrons (TTE), o que pode ser verificado de forma diferente nas plantas irrigadas as quais permanecem com a elevada TTE. Assim, em condições de disponibilidade hídrica normal, o funcionamento do FSII permanece intacto (SAH et al., 2022), e conseqüentemente mais alto os valores de F_v/F_m . Portanto, reforçamos que a aplicação de 100 e 200 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp. aliviou o

efeito estressante e atuou na homeostase do aparato fotossintético, uma vez que nestas condições de suspensão da irrigação as plantas mantiveram seu comportamento estabilizado

O aumento do índice de clorofila ao longo dos períodos de avaliação é uma resposta natural da espécie no estágio em que se encontrava. Por outro lado, na condição de déficit hídrico, sua redução está associada à oxidação desses pigmentos (SHERIN; ASWATHI; PUTHUR, 2022). Atrémos esse comportamento a baixa TTE, favorecendo que os elétrons dissipados se liguem à outras moléculas, formando radicais livres e espécies reativas de oxigênio, como os superóxidos e oxigênio singleto, os quais em grande quantidade causam danos as membranas de organelas como os cloroplastos e estruturas como o complexo da antena, além de afetarem negativamente as biossínteses metabólicas (LOBO e AGUIAR, 2021; SILVA et al., 2022; DE SOUZA et al., 2022).

Entretanto, apesar da dose de 100 mL ha⁻¹ de *Bacillus* aliviar o efeito do déficit hídrico na fase de estresse, no pós-estresse os valores ainda se mantiveram menores, indicando a não total recuperação dessa característica, diferentemente do que foi observado na dosagem de 200 mL ha⁻¹, que demonstrou melhor condição de reestabelecimento das estruturas e funcionalidade do aparato fotossintético.

Desta forma os altos valores de F_0/F_m nas plantas em DH indicam maior dissipação de energia, em consequência da menor eficiência da conversão energia absorvida (F_v/F_0) e TTE, reforçando nossa hipótese de danos nas estruturas no FS II, pois sob condições extremas, o excesso de elétrons não é aproveitado nas atividades fotoquímicas, aqui representados pelo F_0 e F_0/F_m , alterando a eficiência fotoquímica (F_v/F_m), que de acordo com Yang et al. (2022) se deve ao estresse oxidativo e fotoinibição.

Sugerimos então que os *Bacillus* spp atuam aumentando a eficiência de aproveitamento da energia luminosa e sua capacidade de transferência entre os aceptores nos centros de reação do FS II, reflexo da maior F_v/F_0 , incremento em F_v/F_m e redução dos indicadores de perda de energia, demonstrando papel na regulação da matriz energética para posterior uso na fase bioquímica da fotossíntese e produção de carboidratos. Da mesma forma como observado em Jaoudé et al (2024), a F_v/F_m e PSII reagiram diferentemente de acordo com a aplicação de bactérias

Já o fato de o F_0 ser menor nas plantas irrigadas, apenas reforça que há uma maior absorção da energia incidida sobre a folha, enquanto as plantas estressadas pelo DH refletem mais para dissipar energia na forma de fluorescência como mecanismo de

defesa da planta. De acordo com Medina et al. (2023), quando a planta está em condições estressantes como o déficit hídrico, uma das estratégias de reduzir o excesso de energia em função da sua baixa capacidade de utilização na cadeia transportadora de elétrons (CTE) é direcionar na emissão de fluorescência, como observado em nosso estudo na fase de estresse. Entretanto, ressaltamos que embora inicialmente amenize os danos na CTE, essa energia não aproveitada também pode prejudicar o funcionamento do FS II devido ao estresse oxidativo.

Contudo, as plantas demonstraram ter potencial de recuperação aos 5 e 10 DRI quando analisados os rendimentos fotoquímicos e que apesar das plantas com 200 mL ha⁻¹ de *Bacillus* spp. terem apresentado maiores valores de F_0 e menores F_v/F_m , isso não refletiu negativamente nas trocas gasosas, demonstrando efeito compensatório, uma vez que pode ter ocorrido direcionamento energético para outras atividades metabólicas. (DENG et al., 2022)

Os menores valores das trocas gasosas sob déficit hídrico, especialmente de A é reflexo da perda de turgor (TA), que está associado ao fechamento estomático, sendo este um mecanismo de ajuste de manutenção hídrica do tecido em função da sinalização hormonal. Neste contexto, ao mesmo tempo que a redução da g_s favorece a menor E , está impede a entrada do CO₂ atmosférico, dificultando a eficiência do mesófilo nas funções fisiológicas. Logo, à medida que a planta realiza a fotossíntese, há aumento de O₂ nas membranas, e conseqüentemente a ocorrência da fotorrespiração devido a menor eficiência da RuBisCO (A/C_i) em carboxilação. Por sua vez, a RuBisCo que representa mais da metade de todas as proteínas em uma planta de metabolismo C3 (KAWASHIMA e WILDMAN, 1970). Causa o aumento de C_i , uma vez que esta enzima possui afinidade tanto com dióxido de carbono quanto ao oxigênio, permitindo assim com que na ausência do CO₂ ocorra uma reação por parte da mesma com o O₂

Já para a manutenção dos valores das trocas gasosas mais elevados com a aplicação de *Bacillus* spp. está associado ao seu mecanismo de ação protetor por meio do aumento de enzimas antioxidantes e proteínas com a finalidade de manter a assimilação de CO₂ eficiente mesmo em condição de maior gasto energético para sua sobrevivência. Além disso, Xu et al. (2022) relataram que as bactérias do gênero *Bacillus* como o *B. aryabhatai*, presente no mix utilizado neste estudo, atuam em genes de transcrição que reduzem o efeito do etileno, melhorando a eficiência no uso da água.

Acreditamos que o maior valor de massa fresca se deve ao maior teor de água, especialmente com aplicação das rizobactérias em comparação com as plantas sem a

presença dessas bactérias. uma vez que foram capazes de contribuir na regulação do equilíbrio hormonal e fisiológico da planta, além da produção de enzimas antioxidantes para sua proteção, porém notou-se redução na síntese de açúcares de reserva e estruturais uma vez que a massa seca não apresentou diferença estatística.

Segundo Albuquerque e Durées (2002) de toda a água absorvida pelas plantas, menos de 2% dela é realmente utilizada na fotossíntese onde o restante serve para regulação da temperatura através da transpiração, entretanto esses valores podem variar de acordo com a espécie, idade da planta, entre outros aspectos intrínsecos e extrínsecos. Em nosso estudo, acreditamos que as rizobactérias foram determinantes na regulação e manutenção desses processos, uma vez que o maior TA especialmente na fase de estresse, equilibrou a atividade dos processos metabólicos bem como na regulação da temperatura interna das plantas, refletindo diretamente na eficiência da fotossíntese e demais variáveis de trocas gasosas.

O aumento dos valores da atividade SOD podem refletir em causas incertas, como descrito por Park et al. (2017). alguns pesquisadores relatam que seu aumento pode indicar uma condição estressante, mas outros pontuam o seu incremento como uma resposta positiva, funcionando como indicativo de eficiência em resposta ao estresse e conseqüentemente a tolerância, o que acreditamos ter sido observado nas plantas com 200 mL ha⁻¹. Outro ponto relevante é que os mecanismos de proteção variam entre diferentes enzimas, como verificado pelas respostas inversas da SOD e POX no nosso trabalho.

Por outro lado, acreditamos que com 200 mL ha⁻¹ houve possível indução de tolerância gerada pelo aumento de SOD, tornando a condição menos estressante. Isso, porque a SOD é um dos primeiros e principais mecanismos de defesa do estresse oxidativo e atua na eliminação do acúmulo de EROs (MISHRA; SHARMA, 2019), sendo necessário que a planta direcione pouca energia para outros mecanismos e vias de proteção como a POX, refletindo positivamente em valores mais altos de A em função da melhor eficiência do mesófilo e de carboxilação aos 3 e 6 DSI.

No entanto, sem e com 100 mL ha⁻¹ de *Bacillus* as plantas não conseguiram otimizar a síntese de SOD de maneira eficiente a aliviar o estresse, necessitando investir em outros mecanismos como as proteínas livres e a POX, direcionando energia para o metabolismo de proteção e não no fotossintético. Além disso, possivelmente a maior dose tenha favorecido a biossíntese de aminoácidos na osmorregulação, uma vez que Mun et al. (2024) descreveram que algumas cepas de *Bacillus aryabhatai* possuem capacidade

de aumentar em mais de 100% a produção de alguns aminoácidos como glicina e tirosina, reforçando o papel hidrocapacitor dessas rizobactérias.

Além disso o valor de proteínas totais pode indicar um maior gasto energético por parte das plantas sem ou na menor dose de mix de *Bacillus* spp., diferentemente das plantas com 200 mL ha⁻¹ que conseguiram focar seu gasto metabólico em outras funções como equilíbrio osmótico, regulação da temperatura interna e outros fatores. Onde, há relatos da eficiência do *Bacillus aryabhatai* em aumentar a produção de polipeptídios e proteínas (CHOMPA et al., 2022).

6. CONCLUSÃO

A aplicação de *B. aryabhattai*, *B. haynesii* e *B. circulans* na dose de 200 mL ha⁻¹ é eficiente na mitigação do estresse por déficit hídrico sobre o metabolismo fotossintético e ajustes das atividades enzimáticas. Na fase de pós-estresse, todas as plantas de soja nas diferentes condições de cultivo se recuperam, porém aos 5 DRI algumas plantas ainda apresentavam sequelas aos danos oxidativos, sendo que aos 10 DRI as plantas em geral já possuíam recuperação total, indicando potencial de resiliência por plasticidade fenotípica. Apesar disso a aplicação das rizobactérias favorece a retomada do metabolismo foliar sendo uma estratégia para mitigação de condições adversas e manutenção do potencial produtivo da soja.

7. REFERÊNCIAS

ABDEL LATEF, A. A. H. et al. Mitigation of copper stress in maize by inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Bacillus circulans*. **Plants**, v. 9, n. 11, p. 1513, 2020.

ABIOVE, Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. **Relatório de Exportações – Complexo Soja e Milho Outubro/2023**. Disponível em: file:///C:/Users/Cliente/Downloads/exp_202310.pdf>. Acesso em 28/11/2023

ABOU JAOUDÉ, Renée et al. A plant's perception of growth-promoting bacteria and their metabolites. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1332864, 2024

AGNIHOTRI, RK et al. Variabilidade das trocas gasosas e eficiência do uso da água de trinta variedades locais de arroz ainda em cultivo na região de Kumaun, no Himalaia Central da Índia. **Fisiologia e Biologia Molecular das Plantas**, v. 15, p. 303-310, 2009.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Seca Fica Mais Branda no Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e Sul, Segundo Última Atualização do Monitor de Secas**. Disponível em :<<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/seca-fica-mais-branda-no-centro-oeste-nordeste-sudeste-e-sul-segundo-ultima-atualizacao-do-monitor-de-secas>>. Acesso em: 21/11/2023

ANDA, A. et al. Yield features of two soybean varieties under different water supplies and field conditions. **Field Crops Research**, v. 245, p. 107673, 2020.

BADR, A.; BRÜGGEMANN, W., Special issue in honour of Prof. Reto J. Strasser – Comparative analysis of drought stress response of maize genotypes using chlorophyll fluorescence measurements and leaf relative water content. **Photosynthetica** 2020, 58 (SPECIAL ISSUE), 638-45.

BATES, LS, Waldren RP, Teare ID (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 39:05–207.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. Improvement of soybean resilience to drought through deep root system in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 4, p. 1612-1622, 2017.

BATTISTI, Rafael et al. Soybean yield gap in the areas of yield contest in Brazil. **International Journal of Plant Production**, v. 12, p. 159-168, 2018.

BENINCASA, Margarida Maria Pereira. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. **Jaboticabal**: Funep, 1988.

BHAT, Basharat Ahmad et al. The role of plant-associated rhizobacteria in plant growth, biocontrol and abiotic stress management. **Journal of Applied Microbiology**, v. 133, n. 5, p. 2717-2741, 2022.

BLUM, A.; EBERCON, Adelina. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat 1. **Crop Science**, v. 21, n. 1, p. 43-47, 1981.

BOLHAR-NORDENKAMPF, HR et al. Fluorescência da clorofila como sonda da competência fotossintética de folhas em campo: uma revisão da instrumentação atual. **Ecologia Funcional**, pág. 497-514, 1989.

BUCZEK, Jan; BOBRECKA-JAMRO, Dorota; JAŃCZAK-PIENIAŹEK, Marta. Photosynthesis, Yield and Quality of Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under Different Soil-Tillage Systems. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 4903, 2022.

CASTELO SOUSA, Henderson et al. *Bacillus aryabhattai* mitigates the effects of salt and water stress on the agronomic performance of maize under an agroecological System. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1150, 2023.

CESB, Comitê Estratégico Soja Brasil. **Ranking CESB**. Disponível em: <https://www.cesbrasil.org.br/ranking-cesb-22-23/>>. Acesso em 21/11/2023.

CHAUHAN, Jyoti et al. Plant photosynthesis under abiotic stresses: Damages, adaptive, and signaling mechanisms. **Plant Stress**, p. 100296, 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 12 décimo segundo levantamento, setembro 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 2 segundo levantamento, novembro 2023.

DENG, Chao et al. Mecanismos moleculares de promoção do crescimento vegetal para *Bacillus aryabhattai* metilotrófico LAD. **Fronteiras em Microbiologia**, v. 13, p. 917382, 2022.

DINIS, L. T. et al. Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: Water relations, photosynthesis and oxidative damage. **Photosynthetica**, v. 56, p. 641-651, 2018.

DOS PASSOS, Emerson Gabriel Cardoso et al. Uso de inoculantes em tomate para avaliação de redução de fertilizantes nitrogenados e potássicos. **Revista Latinoamericana Ambiente e Saúde**, v. 5, n. 3 (especial), p. 294-300, 2023.

ELMERICH, Chloe et al. Soybean phenotypic plasticity in response to dark chilling stress. **bioRxiv**, p. 2024.05. 07.592937, 2024.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Água**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre-producao>. Acessado em: 27/11/2023.

EMBRAPA, , Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Bactéria Encontrada no Mandacaru Vira Bioproduto que Promove Tolerância à Seca em Plantas**. Disponível

em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/60941801/bacteria-encontrada-no-mandacaru-vira-bioproduto-que-promove-tolerancia-a-seca-em-plantas>>. Acesso em 21/11/2023.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cientistas usam bactérias para ajudar plantas a resistir à seca.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/22885691/cientistas-usam-bacterias-para-ajudar-plantas-a-resistir-a-seca>. Acessado em 19/06/2024.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **História da Soja.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia>>. Acesso em 19/11/2023.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em Números.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acessado em 28/11/2023.

ETESAMI, Hassan; JEONG, Byoung Ryong; GLICK, Bernard R. Potencial uso de *Bacillus* spp. como um bioestimulante eficaz contra estresses abióticos nas culturas – uma revisão. **Pesquisa Atual em Biotecnologia**, p. 100128, 2023.

JAHAN, Mohammad Shah et al. Physiological mechanism of melatonin attenuating to osmotic stress tolerance in soybean seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 2023.

JUMRANI, Kanchan; BHATIA, Virender Singh. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 25, n. 3, p. 667-681, 2019.

KAWASHIMA, NOBUMARO; WILDMAN, S. G. Fraction I protein. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 21, n. 1, p. 325-358, 1970.

LAISK, Agu; LORETO, Francesco. Determining photosynthetic parameters from leaf CO₂ exchange and chlorophyll fluorescence (ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase specificity factor, dark respiration in the light, excitation distribution between photosystems, alternative electron transport rate, and mesophyll diffusion resistance. **Plant Physiology**, v. 110, n. 3, p. 903-912, 1996.

LOBO, Antonio Lucas Aguiar. Crescimento e desempenho fisiológico de cultivares de soja submetidas ao déficit hídrico severo. 2021.

LI, Bin et al. Prediction and monitoring of leaf water content in soybean plants using terahertz time-domain spectroscopy. **Computers and electronics in agriculture**, v. 170, p. 105239, 2020.

LI, Ruiqi et al. Research progress in improving photosynthetic efficiency. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 11, p. 9286, 2023.

MAPA, Ministério da Agricultura e Pecuária. **El Niño 2023: Saiba Detalhes Sobre o Monitoramento, Previsões e os Possíveis Impactos do Fenômeno no Brasil.** Disponível em:<<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/el-nino-2023->

[saiba-detalhes-sobre-o-monitoramento-previsoes-e-os-possiveis-impactos-do-fenomeno-no-brasil](#)>. Acesso em: 28 de outubro de 2023.

MASCARANHAS, L. S. Uso de inoculantes microbiológicos para otimização do crescimento e desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar cultivadas sob déficit hídrico. 2021.

MAURYA, Annapurna et al. Biofilm formation and extracellular polymeric substance (EPS) production by *Bacillus haynesii* and influence of hexavalent chromium. **Bioresource Technology**, v. 352, p. 127109, 2022.

MEDERSKI, Henry J. Effects of water and temperature stress on soybean plant growth and yield in humid, temperate climates. In: **Crop Reactions to Water and Temperature Stresses in Humid, Temperate Climates**. CRC Press, 2019. p. 35-48.

MEDINA, Isadora Rodrigues; ROCHA, Guilherme Henrique da; PEREIRA, Eduardo Gusmão. Ajustes fotossintéticos e concentração de prolina provavelmente estão ligados à memória de estresse em soja exposta a seca recorrente. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, p. e015322, 2023.

MISHRA, Panchanand; SHARMA, Pallavi. Superoxide Dismutases (SODs) and their role in regulating abiotic stress induced oxidative stress in plants. **Reactive oxygen, nitrogen and sulfur species in plants: Production, metabolism, signaling and defense mechanisms**, p. 53-88, 2019.

MUN, Bong-Gyu et al. O PGPR *Bacillus aryabhatai* promove o crescimento da soja via manutenção de nutrientes e clorofila e a produção de ácido butanoico. **Fronteiras em Fitotecnia**, v. 15, p. 1341993, 2024.

NEUMAIER, Norman et al. Ecofisiologia da soja. 2020.

NOAA. Administração Oceânica e Atmosférica Nacional. **The Planet just had its Warmest October on Record**. Disponível em: <https://www.noaa.gov/news/planet-just-had-its-warmest-october-on-record>. Acesso em: 21/11/2023.

OJUEDERIE, Omena Bernard; OLANREWAJU, Oluwaseyi Samuel; BABALOLA, Olubukola Oluranti. Plant growth promoting rhizobacterial mitigation of drought stress in crop plants: Implications for sustainable agriculture. **Agronomy**, v. 9, n. 11, p. 712, 2019.

OGREN, William L. Potential for Controlling Photorespiration in Soybeans. In: **World Soybean Research Conference III**. CRC Press, 2022. p. 774-779.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Promessas Atuais do Acordo de Paris Levam a Aquecimento de até 2,9°**. Disponível em:< <https://brasil.un.org/pt-br/253272-promessas-atuais-do-acordo-de-paris-levam-aquecimento-de-at%C3%A9-29%C2%B0c>>. Acesso em: 21/11/2023.

PARK, Yeon-Gyeong et al. *Bacillus aryabhatai* SRB02 tolerates oxidative and nitrosative stress and promotes the growth of soybean by modulating the production of phytohormones. **PLoS One**, v. 12, n. 3, p. e0173203, 2017.

POUDEL, Sadikshya et al. Quantifying the physiological, yield, and quality plasticity of Southern USA soybeans under heat stress. **Plant Stress**, v. 9, p. 100195, 2023.

RAZI, Kaukab; MUNEER, Sowbiya. Drought stress-induced physiological mechanisms, signaling pathways and molecular response of chloroplasts in common vegetable crops. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 41, n. 5, p. 669-691, 2021.

RYODEN, Yuta et al. Functional expression of the P2X7 ATP receptor requires Eros. **The Journal of Immunology**, v. 204, n. 3, p. 559-568, 2020.

SAH, Saroj Kumar; REDDY, Kambham Raja; LI, Jiayu. O silício melhora o crescimento vegetativo das plantas e a retenção de água no solo das plantas de soja (*Glycine max*) sob condições de limitação de água. **Plantas**, v. 11, n. 13, pág. 1687, 2022.

SANTOS, Samuel de Oliveira. *Bacillus* sp., formas de adubação e uso de água salobra na produção da soja no Maciço de Baturité, Ceará. 2024.

SAXENA, A. Kumar et al. *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. **Journal of Applied Microbiology**, v. 128, n. 6, p. 1583-1594, 2020.

SHAFFIQUE, Shifa et al. Unlocking the potential of newly isolated phytohormone-producing bacterial strains for enhanced plant growth and stress tolerance. **Plant Stress**, v. 10, p. 100260, 2023.

SHERIN, George; ASWATHI, KP Raj; PUTHUR, Jos T. Photosynthetic functions in plants subjected to stresses are positively influenced by priming. **Plant Stress**, v. 4, p. 100079, 2022.

SCHNEIDER, Julia Renata et al. Soybean plant metabolism under water deficit and xenobiotic and antioxidant agent application. **Biology**, v. 9, n. 9, p. 266, 2020.

SILVA, Antonio Augusto Souza et al. Extrato de alga *Ascophyllum nodosum* em mudas de *Inga edulis* Mart. sob restrição hídrica e no pós-estresse. 2022.

SONG, Xingyang et al. Stomatal limitations to photosynthesis and their critical water conditions in different growth stages of maize under water stress. **Agricultural Water Management**, v. 241, p.1-12, 2020.

SOUZA, Amanda P. et al. Soybean photosynthesis and crop yield are improved by accelerating recovery from photoprotection. **Science**, v. 377, n. 6608, p. 851-854, 2022.

SOUZA, Carlos Cleide de et al. Avaliação de métodos de determinação de água disponível e manejo da irrigação em terra roxa sob cultivo de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 338-342, 2000.

SUO, Rongzhen; WANG, Mingjiu; ZHAO, Tianqi. Contribution of Photosynthetic, Root and Phenotypic Traits to Soybean Plant Height. **Sustainability**, v. 16, n. 7, p. 2886, 2024.

SZYMAŃSKA, Renata et al. Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, p. 165-177, 2017.

TAMILSELVI, S. M. et al. Microbial behavior, responses toward salinity stress, mechanism of microbe-mediated remediation for sustainable crop production. **Mitigation of plant abiotic stress by microorganisms**, p. 103-127, 2022.

TURNER, N.C. (1981) Techniques and Experimental Approaches for the Measurement of Plant Water Status. **Plant and Soil**, 58, 339-366.

VIDHYALAKSHMI, R. et al. Bacillus circulans exopolysaccharide: Production, characterization and bioactivities. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 87, p. 405-414, 2016.

VIVAS, Astrid et al. Influência de um Bacillus sp. nas atividades fisiológicas de dois fungos micorrízicos arbusculares e nas respostas das plantas ao estresse hídrico induzido por PEG. **Micorrizas**, v. 13, pág. 249-256, 2003.

XU, Hongli et al. Endophytic bacterium Bacillus aryabhatai induces novel transcriptomic changes to stimulate plant growth. **PLoS One**, v. 17, n. 8, p. e0272500, 2022.

YOO, Sung-Je et al. Effect of Bacillus aryabhatai H26-2 and B. siamensis H30-3 on growth promotion and alleviation of heat and drought stresses in Chinese cabbage. **The Plant Pathology Journal**, v. 35, n. 2, p. 178, 2019.

YANG, Yuming et al. Novel target sites for soybean yield enhancement by photosynthesis. **Journal of Plant Physiology**, v. 268, p. 153580, 2022.

ZHANG, Li-xin et al. Principles and practices of the photo-thermal adaptability improvement in soybean. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 19, n. 2, p. 295-310, 2020.