

ANDRÉA DOS SANTOS OLIVEIRA

ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DE PLÂNTULAS DE *Myracrodruon urundeuva*  
ALLEMÃO (ANACARDIACEAE) INOCULADAS COM *Azospirillum lipoferum*  
SUBMETIDAS A ESTRESSES

Serra Talhada-PE

2019

**O  
L  
I  
V  
E  
I  
R  
A  
  
A  
S  
  
A  
S  
P  
E  
C  
T  
O  
S  
  
E  
C  
O  
F  
I  
S  
I  
O  
L  
Ó  
G  
I  
C  
  
·  
·  
·  
2  
0  
1  
9**

ANDRÉA DOS SANTOS OLIVEIRA

ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DE PLÂNTULAS DE *Myracrodruon urundeuva*  
ALLEMÃO (ANACARDIACEAE) INOCULADAS COM *Azospirillum lipoferum*  
SUBMETIDAS A ESTRESSES

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Alves de Lima

Serra Talhada-PE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca da UAST, Serra Talhada-PE, Brasil

O48a Oliveira, Andréa dos Santos

Aspectos ecofisiológicos de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (ANACARDIACEAE) inoculadas com *Azospirillum lipoferum* submetidas a estresses / Andréa dos Santos Oliveira. - Serra Talhada, 2019.

73 f. : il.

Orientador: André Luiz Alves de Lima

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2019.

Inclui referências.

1. Aroeira-do-sertão. 2. Stress (Fisiologia). 3. Rizobactérias.  
I. Lima, André Luiz Alves de, orient. II. Título.

CDD

ANDRÉA DOS SANTOS OLIVEIRA

ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DE PLÂNTULAS DE *Myracrodruon urundeuva*  
ALLEMÃO (ANACARDIACEAE) INOCULADAS COM *Azospirillum lipoferum*  
SUBMETIDAS A ESTRESSES

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADA em 25/02/2019.

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. ANDRÉ LUIZ ALVES DE LIMA – UAST/UFRPE  
Orientador

---

Prof. Dr. ADRIANO DO NASCIMENTO SIMÕES – UAST/UFRPE  
Examinador Interno

---

Prof. Dr. ANDRÉ LAURÊNIO DE MELO – UAST/UFRPE  
Examinador Externo

Aos meus pais Antônio Inácio (*in memoriam*) e Antônia Oliveira, meu irmão Eudson Oliveira e meu esposo Rodrigo Santos, pela compreensão, apoio e companheirismo.

**DEDICO!**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder o privilégio da vida, por toda força e coragem concedida mediante as dificuldades e pelas vitórias alcançadas. Serei sempre muito grata por estar comigo, iluminando minha mente e meu caminho, tudo desde o início estava sob seu controle.

A minha família, de modo particular minha mãe Antônia pelo amor e carinho e ao meu irmão Eudson, por ter sido nesse período meu irmão, companheiro e conselheiro que me fez sempre enxergar o lado bom das coisas e que tudo que acontece é para o nosso bem e crescimento, serei eternamente grata por tê-lo como irmão. Ao meu esposo Rodrigo Santos, por toda a compreensão e companheirismo ao longo desse período e por me fazer acreditar que daria conta do recado, mesmo muitas vezes isso parecendo ser impossível para mim, obrigada.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada em especial ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e a Coordenação de Apoio Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, André Luiz Alves de Lima, por ter aceitado o convite de me orientar. Sem dúvida ele foi a pessoa que mais me fez crescer neste período, mais que meu orientador, foi meu desafiador, me fez sair de minha zona de conforto fazendo com que eu fosse sempre além do que eu imaginava ser necessário. A ele toda a minha gratidão.

Ao professor Eduardo Soares de Souza da UFRPE/UAST, por disponibilizar o IRGA para a realização deste trabalho.

Aos professores doutores Adriano do Nascimento e André Laurênio por suas contribuições ao longo desta pesquisa. À Doutora Kellem Silva, que muito contribuiu com meu estágio à docência, esclarecendo sempre minhas dúvidas com toda paciência e atenção.

À Maria Jucicléa por ter sido meu braço direito ao longo deste trabalho, sem ela o trabalho teria sido muito mais complicado. À Douglas Oliveira, por ter dado o ponta pé inicial desta pesquisa, por ter ajudado tanto no início deste trabalho como em todas as análises que foram necessárias, além de todos os conselhos nos momentos de desânimo. À Érica Marques, por se fazer presente em todos os momentos que precisei, fossem eles para ajuda no experimento ou para conversas e conselhos, muito obrigada!

Aos meus colegas de turma (Alexandre Maniçoba, George Araújo, Elizangela Nunes, Naiara Albuquerque, Maria Aparecida, Juraci Neto, Raliuson Silva e Renilson Pessoa) que apesar do pouco tempo se tornaram grandes amigos sempre dispostos a ajudar e contribuir

com tudo que fosse necessário, de modo particular a Ralison Silva e Juraci Neto que me ajudaram com as análises do IRGA, à Naiara Albuquerque, Maria Aparecida, Elizangela Nunes por terem sido luz em meu caminho, foram amigas irmãs que o universo me concedeu.

À todos os funcionários da UAST, bem como a sua direção administrativa, em particular a Orlando Xavier por ter disponibilizado os funcionários Geraldo e Cláudio para ajudar na implantação do experimento.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram com essa pesquisa.

**MUITO OBRIGADA!**



## RESUMO GERAL

Estresses ambientais limitam o estabelecimento e desenvolvimento de plântulas em ambientes de clima árido e semiárido. A inoculação de Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCPs) minimiza os efeitos adversos de estresses em plantas cultivadas. Entretanto, poucos são os estudos que testaram a inoculação de RPCP em plantas nativas de ambientes semiárido. O presente trabalho teve como objetivo avaliar as influências da inoculação de *Azospirillum lipoferum* no crescimento e nas respostas fisiológicas de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* submetidas a estresses. O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada em ambiente de viveiro. As sementes foram sanitizadas e inoculadas com a rizobactéria, com tratamento controle correspondendo as sementes que não receberam a inoculação. Três semanas após a germinação as plântulas foram transplantadas para vasos de 3,8 L. A redução da reposição de água foi conforme a evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), sendo os tratamentos: controle (100% da ET<sub>0</sub>), déficit moderado (50% da ET<sub>0</sub>) e déficit severo (25% da ET<sub>0</sub>). Foram realizadas avaliações biométricas e de biomassa, fisiológicas (trocas gasosas, teores de clorofilas), potencial hídrico, curvas de luz de eficiência fotossintéticas e avaliação da fluorescência da clorofila. As plântulas inoculadas e sob os tratamentos moderados de déficit hídrico apresentaram altura 31% maior em relação às plântulas sem inóculo. A biomassa foliar das plântulas inoculadas e sob déficit hídrico severo foi 17% superior às plântulas sem inóculo. As taxas fotossintéticas, condutância estomática e transpiração apresentaram maiores médias para as plântulas sob efeito de inoculação. O potencial hídrico das plântulas não inoculadas e sob déficit moderado foi 14% mais negativo que as plântulas com inóculo. As curvas de intensidade luminosa para as plântulas inoculadas e sob efeito de déficit hídrico apresentaram maiores valores de fotossíntese, condutância e transpiração. A fluorescência máxima apresentou as maiores médias para as plântulas inoculadas do tratamento controle de déficit hídrico e para o coeficiente de dissipação fotoquímica as plântulas inoculadas do tratamento severo de déficit hídrico se sobressaíram em relação às plântulas sem inóculo. Com isso a inoculação de RPCP em *M. urundeuva* apresenta-se como uma alternativa para a produção de plantas mais tolerantes ao déficit hídrico, sendo uma alternativa para a utilização dessas plantas na recuperação de áreas degradadas.

**Palavras-chave:** Aroeira, estresse abiótico, plântulas, rizobactérias, trocas gasosas.

## GENERAL ABSTRACT

Environmental stresses limit the establishment and development of seedlings in arid and semi-arid climate environments. Inoculation of Plant Growth Promising Rhizobacteria (RPCPs) minimizes the adverse effects of stresses on cultivated plants. However, few studies have tested the inoculation of RPCP in native plants in semi-arid environments. The present work had as objective to evaluate the influences of the inoculation of *Azospirillum lipoferum* on the growth and the physiological responses of *Myracrodruon urundeuva* seedlings submitted to stress. The experiment was conducted at the Federal Rural University of Pernambuco, Serra Talhada Academic Unit in a nursery environment. The seeds were sanitized and inoculated with the rhizobacterium, with control treatment corresponding to the seeds that did not receive the inoculation. Three weeks after germination the seedlings were transplanted into 3.8 L vessels. The reduction of water replenishment was in accordance with the reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>). The treatments were: control (100% ET<sub>0</sub>), moderate stress (50% ET<sub>0</sub>) and severe stress (25% ET<sub>0</sub>). Evaluations were biometric and biomass, physiological (gas exchange, chlorophyll content), water potential, light curves of photosynthetic efficiency and evaluation of chlorophyll fluorescence were performed. Seedlings inoculated and under moderate water deficit treatments presented a 31% higher height in relation to seedlings without inoculum. Foliar biomass of inoculated seedlings and under severe water deficit was 17% higher than seedlings without inoculum. The photosynthetic rates, stomatal conductance and transpiration presented higher averages for the seedlings under inoculation effect. The water potential of uninoculated and moderately deficit seedlings was 14% more negative than seedlings with inoculum. The light intensity curves for seedlings inoculated and under water deficit showed higher values of photosynthesis, conductance and transpiration. The maximum fluorescence showed the highest mean values for inoculated seedlings of the water deficit control treatment and for the photochemical dissipation coefficient the inoculated seedlings of the severe water stress treatment were highlighted in relation to the seedlings without inoculum. Thus, the inoculation of RPCP in *M. urundeuva* presents itself as an alternative for the production of plants more tolerant to water deficit, being an alternative for the use of these plants in the recovery of degraded areas.

**Key words:** abiotic stress, aroeira, gas exchange, rhizobacteria, seedling.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO I - A INOCULAÇÃO DE *Azospirillum lipoferum* MAXIMIZA A EFICIÊNCIA ECOFISIOLÓGICA E DE BIOMASSA EM PLANTULAS DE *Myracrodruon urundeuva* ALLEMÃO (ANACARDIACEAE) SOB EFEITO DE DÉFICIT HÍDRICO

- Figura 1** Altura da planta (mm) (A, B, C), diâmetro do coleto (mm) (D, E, F) e número de folhas (G, H, I) em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* com e sem inóculo (*Azospirillum lipoferum*) sob três níveis de déficit hídrico (100%, 50% e 25% da ET<sub>0</sub>), letras maiúsculas representam diferenças entre os tratamentos de inoculação, letras minúsculas representam diferença entre os tratamentos de irrigação..... 25
- Figura 2** Temperatura foliar e do ambiente às 11:00 e 14:00 do dia em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão inoculadas com *Azospirillum lipoferum* diferentes condições de déficit hídrico (% ET<sub>0</sub>) ..... 27
- Figura 3** Níveis de clorofila *a* aos 15 (A) e 75 (B) dias, *b* (C-D) e total (E-F) em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão inoculadas com *Azospirillum lipoferum* sob diferentes condições de déficit hídrico (% ET<sub>0</sub>) ..... 28
- Figura 4** Taxa de fotossíntese líquida (A, B, C), condutância estomática (D, E, F), transpiração (G, H, I), concentração interna de CO<sub>2</sub> (J, L, M), eficiência do uso da água (N, O, P) e eficiência intrínseca do uso da água (Q, R,S) em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, inoculadas com *Azospirillum lipoferum* submetida a três níveis diferentes níveis de déficit hídrico (100% da ET<sub>0</sub>, 50% da ET<sub>0</sub> e 25% da ET<sub>0</sub>) ao longo de um período de 75 dias..... 30
- Figura 5** Potencial hídrico foliar em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, inoculadas com *Azospirillum lipoferum* submetida a três níveis de déficit hídrico (100% da ET<sub>0</sub>, A; 50% da ET<sub>0</sub>, B; 25% da ET<sub>0</sub>, C) ..... 31
- Figura 6** Dano de membrana (A- 100% e 25% da ET<sub>0</sub>) e conteúdo relativo de água (B – 100%, 50% e 25% da ET<sub>0</sub>) em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, inoculadas com *Azospirillum lipoferum* submetida a diferentes níveis de déficit hídrico..... 32
- Figura 7** Análise de componentes principais em plântulas de *Myracrodruon*

*urundeuva* Allemão, inoculadas com *Azospirillum*, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico (ALT= Altura, DC= Diâmetro do coleto, NF= Número de folhas, BF= Biomassa Foliar, AF= Área Foliar, AFE= Área Foliar Especifica, BC= Biomassa Caule, BAT= Biomassa Aérea Total, BRG= Biomassa Raízes Grossas, BRF= Biomassa Raízes Finas, BRT= Biomassa Raiz Total, QARR= Quantidade de Água na Raiz de Reserva, CR= Comprimento da Raiz, DR= Diâmetro da Raiz, PHF= Potencial Hídrico, CRA= Conteúdo Relativo de Água, °CF8:00= Temperatura Foliar às 8:00 horas, °CF11:00= Temperatura Foliar às 11:00, °CF14:00= Temperatura Foliar às 14:00 horas, °CF17:00= Temperatura Foliar às 17:00, A= Fotossíntese, gs= Condutância Estomática, E= Transpiração, Ci= Concentração Interna de CO<sub>2</sub>, EUA= Eficiência do uso da água, EIUA= Eficiência Intrínseca do Uso da Água, Cla= Clorofila a, Clb= Clorofila b, Clt= Clorofila total)..... 33

**Figura 8** Análise de componentes principais em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, sem inoculação, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico (ALT= Altura, DC= Diâmetro do coleto, NF= Número de folhas, BF= Biomassa Foliar, AF= Área Foliar, AFE= Área Foliar Especifica, BC= Biomassa Caule, BAT= Biomassa Aérea Total, BRG= Biomassa Raízes Grossas, BRF= Biomassa Raízes Finas, BRT= Biomassa Raiz Total, QARR= Quantidade de Água na Raiz de Reserva, CR= Comprimento da Raiz, DR= Diâmetro da Raiz, PHF= Potencial Hídrico, CRA= Conteúdo Relativo de Água, °CF8:00= Temperatura Foliar às 8:00 horas, °CF11:00= Temperatura Foliar às 11:00, °CF14:00= Temperatura Foliar às 14:00 horas, °CF17:00= Temperatura Foliar às 17:00, A= Fotossíntese, gs= Condutância Estomática, E= Transpiração, Ci= Concentração Interna de CO<sub>2</sub>, EUA= Eficiência do uso da água, EIUA= Eficiência Intrínseca do Uso da Água, Cla= Clorofila a, Clb= Clorofila b, Clt= Clorofila total)..... 34

**CAPITULO II - PLANTULAS DE *Myracrodruon urundeuva* INOCULADAS COM *Azospirillum lipoferum* EXIBEM RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS DISTINTAS EM RELAÇÃO À DISPONIBILIDADE DE LUZ**

- Figura 1** Curva de indução de fotossíntese (A-B), condutância estomática (C-D) e transpiração (E-F) por saturação luminosa em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, com e sem inóculo de *Azospirillum lipoferum*, submetida a tratamento controle (100% da ET0) (A-C-E) e de déficit hídrico de 25% da ET0 (B-D-F)..... 68
- Figura 2** Curva de concentração interna de CO<sub>2</sub> (A-B), eficiência instantânea do uso da água (C-D) e eficiência intrínseca do uso da água (E-F) por saturação luminosa em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, com e sem inóculo de *Azospirillum lipoferum*, submetida a tratamento controle (100% da ET0) (A-C-E) e de déficit hídrico de 25% da ET0 (B-D-F)..... 70
- Figura 3** Fluorescência inicial ( $F_o$ ) (A) e Fluorescência máxima ( $F_M$ ) (B), em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, com e sem inóculo de *Azospirillum lipoferum*, submetida a tratamento controle (100% da ET0) e de déficit hídrico severo (25% da ET0)..... 71
- Figura 4** Atividade potencial do fotossistema II ( $F_v/F_o$ ) (A) e eficiência fotoquímica efetiva do fotossistema II ( $F_v'/F_m'$ ) (B), em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, com e sem inóculo de *Azospirillum lipoferum*, submetida a tratamento controle (100% da ET0) e de déficit hídrico severo (25% da ET0)..... 72
- Figura 5** Coeficiente de extensão fotoquímica ( $qP$ ) (A) e coeficiente de extensão não fotoquímica ( $qN$ ) (B), em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, com e sem inóculo de *Azospirillum lipoferum*, submetida a tratamento controle (100% da ET0) e de déficit hídrico severo (25% da ET0) ..... 72

## LISTA DE TABELAS

### **CAPITULO I - A INOCULAÇÃO DE *Azospirillum lipoferum* MAXIMIZA A EFICIÊNCIA ECOFISIOLÓGICA E DE BIOMASSA EM PLANTULAS DE *Myracrodruon urundeuva* ALLEMÃO (ANACARDIACEAE) SOB EFEITO DE DÉFICIT HÍDRICO**

Tabela 1	Biomassa de plântulas de <i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão cultivadas sob diferentes condições de déficit hídrico (% ET0), com (C.I.) e sem (S.I.) inóculo. BF = Biomassa Foliar; AFE = área foliar específica; BC = biomassa caule; BAT= biomassa aérea total; BRG= biomassa raízes grossas; BRF biomassa raízes finas; RRPA= razão raiz parte aérea; QTD.ARR= quantidade de água na raiz reserva; CR= comprimento da raiz; DR= diâmetro da raiz.....	25
----------	--	----

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	13
CAPÍTULO 1 – A INOCULAÇÃO DE <i>Azospirillum lipoferum</i> MAXIMIZA A EFICIÊNCIA ECOFISIOLÓGICA E DE BIOMASSA EM PLANTULAS DE <i>Myracrodruon urundeuva</i> ALLEMÃO (ANACARDIACEAE) SOB EFEITO DE DÉFICIT HÍDRICO.....	15
RESUMO .....	15
ABSTRACT .....	16
1 INTRODUÇÃO.....	17
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
2.1 Área de Estudo .....	19
2.2 Preparo das Sementes e do Substrato .....	20
2.3 Preparo e Inoculação da <i>Azospirillum lipoferum</i> (BR-11080) .....	20
2.4 Semeadura e Crescimento das Plântulas .....	21
2.5 Análises Biométricas e de Biomassa .....	21
2.6 Teores de Clorofilas.....	22
2.7 Análises Fotossintéticas.....	22
2.8 Potencial Hídrico Foliar.....	23
2.9 Dano de Membrana .....	23
2.10 Conteúdo Relativo de Água.....	23
2.11. Análise Estatística .....	24
3 RESULTADOS .....	24
3.1 Biometria e Biomassa.....	24
3.2 Teores de Clorofila .....	27
3.3 Parâmetros Ecofisiológicos .....	28
3.4 Potencial Hídrico Foliar.....	31
4.5 Dano de Membrana e Conteúdo Relativo de Água .....	31
4 DISCUSSÃO .....	34
5 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS .....	39
CAPÍTULO 2 – PLANTULAS DE <i>Myracrodruon urundeuva</i> INOCULADAS COM <i>Azospirillum lipoferum</i> EXIBEM RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS DISTINTAS EM RELAÇÃO À DISPONIBILIDADE DE LUZ.....	47
RESUMO .....	47
ABSTRACT .....	48
1 INTRODUÇÃO.....	49
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	51
2.1 Área de Estudo .....	51
2.2 Preparo de Sementes e do Substrato:.....	51

2.3 Preparo e Inoculação da <i>Azospirillum lipoferum</i> (BR-11080) .....	52
2.4 Semeadura e Crescimento das Plântulas .....	52
2.5 Curvas de Saturação Luminosa .....	53
2.6 Fluorescência da Clorofila.....	53
3 RESULTADOS .....	54
3.1 Curvas de Saturação Luminosa .....	54
3.2 Fluorescência da Clorofila.....	58
4 DISCUSSÃO .....	59
5 CONCLUSÃO.....	62
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	63
REFERÊNCIAS .....	64



## APRESENTAÇÃO

O estabelecimento de plântulas de espécies nativas em florestas de ambientes semiáridos e áridos é fortemente influenciado por fatores ambientais característicos destas regiões. Altas temperaturas associadas aos baixos índices pluviométricos dificultam o estabelecimento de espécies vegetais, pois a fase de plântula requer um rápido desenvolvimento e aprofundamento do sistema radicular. Além dos fatores ambientais, estas florestas encontram-se seriamente perturbadas pela ação antrópica, resultando em grandes áreas desmatadas e com sérios riscos de desertificação, sendo necessários estudos voltados para a restauração destas áreas.

O déficit hídrico afeta aspectos morfológicos e fisiológicos das espécies vegetais, provocando mudanças no potencial hídrico foliar, conteúdo relativo de água, condutância estomática, resultando em menores taxas fotossintéticas e diminuindo o crescimento das plantas. Uma alternativa que vem sendo utilizada no meio agrícola para o estabelecimento de plântulas em áreas que apresentam deficiência hídrica é a inoculação de rizobactérias promotora de crescimento de plantas (RPCP). Estudos apontam uma série de benefícios apresentados pela inoculação de rizobactérias, entre os quais destacam-se: altos índices de germinação, maior crescimento do sistema radicular, produção de fitormônios, aumento da área foliar, maior crescimento da parte aérea das plantas e melhor performance do aparato fotossintético. Dentre as rizobactérias destacam-se as do gênero *Azospirillum*, que são diazotróficos de vida livre, ou seja, possuem a capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, e colonizam a região da rizosfera de gramíneas tropicais. No entanto, poucos são trabalhos publicados sobre os efeitos da inoculação nas trocas gasosas e no aparato fotossintético de plantas nativas de ambientes áridos e semiáridos.

Plantas do semiárido brasileiro estão submetidas a longos períodos de déficit hídrico, além de perturbações antrópicas e mudanças climáticas, que podem aumentar ainda mais as áreas de degradação. Com isto o uso da inoculação de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas é uma alternativa que pode favorecer o estabelecimento de plântulas nativas nestes ambientes, contribuindo com estudos para recuperação de áreas degradadas de ambientes semiáridos. Partindo deste pressuposto o presente trabalho teve por hipótese que a inoculação de *Azospirillum lipoferum* em sementes de *Myracrodruon urundeuva*, cultivadas em ambiente de viveiro, apresentam uma melhor tolerância ao estresse hídrico. O trabalho encontra-se dividido em dois capítulos, o primeiro aborda os efeitos da inoculação da

rizobactéria *Azospirillum lipoferum* em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* sob efeitos de déficit hídrico ao longo do tempo, avaliando aspectos de biometria, biomassa e parâmetros fisiológicos. O segundo capítulo aborda os efeitos da inoculação nas plântulas submetidas a estresse hídrico avaliando respostas de trocas gasosas em relação à indução de diferentes faixas de luminosidade, além da avaliação do aparato fotossintético das plântulas. Ao término do trabalho observou-se que inoculação de *Azospirillum lipoferum* mitigou os efeitos do déficit hídrico em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* em condições de viveiro. Estudos desta natureza contribuem para o avanço do conhecimento das respostas das plantas nativas ao estresse, bem como subsidiar trabalhos de recuperação e reflorestamento de áreas degradadas.

## **CAPÍTULO 1 – A INOCULAÇÃO DE *Azospirillum lipoferum* MAXIMIZA A EFICIÊNCIA ECOFISIOLÓGICA E DE BIOMASSA EM PLANTULAS DE *Myracrodruon urundeuva* ALLEMÃO (ANACARDIACEAE) SOB EFEITO DE DÉFICIT HÍDRICO**

### **RESUMO**

O estresse hídrico limita o estabelecimento de plântulas em ambientes de climas árido e semiárido. Estudos apontam que a inoculação de Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas minimiza os efeitos adversos do estresse hídrico. No entanto, esses estudos são limitados a plantas cultivadas e, os poucos apresentados com plantas nativas limitam-se a condições de ambiente controlado. O presente estudo avaliou a influência da inoculação de *Azospirillum lipoferum* no crescimento de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (ANACARDIACEAE) sob efeitos de déficit hídrico. O experimento foi realizado em ambiente de viveiro na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada. As sementes foram sanitizadas e em seguida 50% foram inoculadas com a rizobactéria e 50% não receberam a inoculação, sendo o tratamento controle. Após a germinação as plântulas foram transplantadas para vasos de 3,8 L de capacidade. A reposição de água foi baseada na evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), com os tratamentos controle (100% da ET<sub>0</sub>), déficit moderado (50% da ET<sub>0</sub>) e déficit severo (25% da ET<sub>0</sub>). Foram realizadas análises biométricas e fisiológicas. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 3 (com e sem inóculo x níveis de irrigação de 100, 50 e 25% da ET<sub>0</sub>) com 15 repetições. As plântulas inoculadas com *A. lipoferum* e sob efeito de déficit hídrico apresentaram maior altura, diâmetro do coleto e número de folhas. A área foliar específica aumentou 27% nas plântulas inoculadas e sob déficit moderado. A biomassa aérea total das plântulas inoculadas e sob efeitos de déficit hídrico de 50 e 25% foram 30% e 21%, respectivamente, superior às plântulas sem inóculo. A condutância estomática e transpiração apresentaram as maiores médias para as plântulas inoculadas. Estes resultados sugerem que a inoculação da *A. lipoferum* em plântulas de *M. urundeuva* conferiu aumento de biomassa e melhor desempenho fotossintético, podendo ser usada como uma alternativa para a produção de plantas mais tolerantes ao déficit hídrico e, portanto, ferramenta de manejo de plantas nativas para uso de restauração florestal.

**Palavras-chave:** Déficit hídrico, ecofisiologia vegetal, fotossíntese, semiárido, rizobactéria.

## ABSTRACT

Water stress limits the establishment of seedlings in arid and semi-arid climates. Inoculation of Rhizobacteria Promising of Plant minimizes the adverse effects of water deficit, but ecophysiological studies with native species are scarce and limited to the laboratory. The present study evaluated the influence of the inoculation of *Azospirillum lipoferum* on the growth of *Myracrodruon urundeuva* Allemão (ANACARDIACEAE) seedlings under the effects of water deficit. The experiment was carried out in a nursery environment at the Federal Rural University of Pernambuco, Academic Unit of Serra Talhada. The seeds were sanitized and then 50% were inoculated with the rhizobacteria and 50% did not receive the inoculation, being the control treatment. After germination the seedlings were transplanted into pots of 3.8 L of capacity. The water replenishment was based on reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>), with control treatments (100% ET<sub>0</sub>), moderate stress (50% ET<sub>0</sub>) and severe stress (25% ET<sub>0</sub>). Biometric and physiological analyzes were performed. The experiment was conducted in a completely randomized design in a 2 x 3 factorial scheme (with and without inoculum x irrigation levels of 100, 50 and 25% ET<sub>0</sub>) with 15 replicates. Seedlings inoculated with *A. lipoferum* and under water deficit showed higher height, collection diameter and number of leaves. The specific leaf area increased 27% in inoculated seedlings and under moderate deficit. The total aerial biomass of inoculated seedlings and under water stress effects of 50 and 25% were 30% and 21%, respectively, higher than seedlings without inoculum. Stomatal conductance and transpiration presented the highest mean values for inoculated seedlings. These results suggest that the inoculation of *A. lipoferum* in *M. urundeuva* seedlings confer increased biomass and better photosynthetic performance, and can be used as an alternative for the production of native plants that are more tolerant to water stress and, therefore, a plant management tool forest restoration.

**Key words:** Photosyntheses, rhizobacteria, vegetal ecophysiology, water deficit.

## 1 INTRODUÇÃO

A restauração natural de florestas de ambientes semiáridos é condicionada por fatores abióticos limitantes que afetam o estabelecimento de plântulas (SCALON et al, 2011). Nestes ambientes, o período chuvoso concentra-se em um curto espaço de tempo e em uma grande variabilidade espacial acarretando em longos períodos de seca (BEUCHLE et al., 2015; SANTOS et al., 2016; SANTOS et al., 2017). Com isso, a fase de plântula é a mais vulnerável, pois para garantir a sobrevivência é necessário que ocorra a germinação com rápido e aprofundado sistema radicular durante o período chuvoso, ou mesmo o desenvolvimento de raízes de reserva (FIGUEIRÔA; BARBOSA; SIMABUKURO, 2004). Nas últimas décadas, o estresse hídrico está entre os estresses abióticos que mais aumentaram em intensidade (VURUKONDA et al., 2016), provocando alterações no potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ), no conteúdo relativo de água (CRA), na condutância estomática e na transpiração, acarretando na redução das taxas fotossintéticas (PIMENTEL, 2004; LARCHER, 2006; AYAN et al., 2014). Além disso, ocorre a degradação de clorofilas (MATOS et al., 2014), diminuindo a eficiência fotoquímica do fotossistema II (ARAUJO; DEMICINIS, 2009). Conseqüentemente, o dano ao aparelho fotossintético compromete os aspectos biométricos, resultando em plantas menores, com redução do comprimento de raízes, número de folhas e biomassa das plantas (SMIT; SINGELS, 2006). Neste sentido, a associação de microrganismos com plantas vem sendo apontada como uma estratégia que pode proporcionar às plantas uma redução nos efeitos do estresse hídrico (KUMAR e VERMA, 2017), entretanto, os dados disponíveis ainda são limitados a ambientes de laboratório para espécies de clima semiárido (OLIVEIRA et al., 2018).

Estudos apontam que a utilização de microrganismos ajuda as espécies vegetais a lidar com longos períodos de estresse hídrico (RUBIN; GROENIGEN; HUNGATE, 2017). Entre esses microrganismos, estão as Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas – RPCPs, que conforme Gray e Smith (2005) são divididas em: 1) bactérias que localizam-se dentro das células das plantas, produzindo nódulos, as quais apresentam estruturas especializadas na fixação biológica de nitrogênio, especialmente leguminosas, e 2) bactérias que se desenvolvem extracelularmente, nos tecidos das raízes das plantas, porém, estas não produzem nódulos, mas possuem a capacidade de promover o desenvolvimento vegetal através da produção de substâncias específicas, como os fitormônios.

A utilização das RPCP's já demonstraram uma série de vantagens e benefícios, como aumento dos índices de germinação, alto desenvolvimento de raízes, aumento de área foliar e da produção de sementes e aumento dos conteúdos de clorofilas (MIRANDA et al., 2015). Estudos que relatam o potencial das RPCP's concentram-se na área agrícola, entre os quais a inoculação de rizobactérias em *Cicer arietinum* (grão-de-bico) (TIWARI et al., 2016), *Zea mays* (milho) (GARCIA et al., 2017), *Triticum* (trigo) (HOSSEINI et al., 2017), *Glycine max* (soja) (KANG et al., 2014) e *Solanum lycopersicum* (tomate) (CALVO-POLANCO et al., 2016). Outros trabalhos relatam a promoção de crescimento em plantas perenes, como é o caso do café (FREITAS, 1989) e do abeto (essência florestal) (CHANWAY et al., 2000). Entre as RPCP's, destacam-se as do gênero *Azospirillum*, que coloniza a região da rizosfera de muitas gramíneas tropicais, fixando nitrogênio atmosférico e o transferindo para a planta (HALDAR; SENGUPTA 2015). As bactérias do gênero *Azospirillum* também possuem capacidade de estimular a produção de hormônios vegetais, resultando em um maior crescimento vegetal (MASCIARELLI et al., 2013).

Recentemente, Oliveira et al. (2018) avaliaram os efeitos da inoculação da rizobactéria *Azospirillum lipoferum* em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* sob efeitos de estresse hídrico, em ambiente de laboratório, controlando temperatura, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e luz. Neste estudo, foi verificado maior tolerância ao estresse hídrico moderado em plântulas inoculadas, por meio de parâmetros biométricos e físico-químicos. Contudo, não foram avaliados parâmetros fotossintéticos e, a resposta do crescimento das plântulas sob condições de viveiro.

A *Myracrodruon urundeuva* é uma espécie potencial para o desenvolvimento de estudos deste tipo, pois é uma espécie nativa que, conforme o Ministério do Meio Ambiente (2008), está entre as espécies ameaçadas de extinção e que ocorre tanto naturalmente tanto em ambiente de Caatinga como em floresta ripária. Outros trabalhos no mundo que avaliaram a interação entre rizobactérias com plantas nativas de ambientes áridos e semiáridos avaliaram que a inoculação favoreceu um melhor desempenho fotossintético para plantas de *Pinus halepensis* e *Quercus coccifera* (Rincón et al, 2008), aumento na concentração de hormônios para *Platyclusus orientalis* (LIU et al., 2013) e melhor desempenho em campo para planta de *Pinus halepensis* (MENGUAL et al., 2014).

Naturalmente, as plantas do semiárido do Brasil estão sujeitas ao forte estresse hídrico, adicionalmente, as perturbações antrópicas e mudanças climáticas podem intensificar os períodos de seca e atuar negativamente no estabelecimento e sobrevivência das espécies (CASTRO; CAVALCANTE, 2011). Assim, a hipótese deste trabalho foi que a inoculação de

*A. lipoferum* em sementes de *Myracrodruon urundeuva*, crescidas em viveiro, pode promover plantas mais tolerantes ao estresse hídrico. Logo, o objetivo foi avaliar por meio de parâmetros ecofisiológicos a influência da inoculação da *A. lipoferum* em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* submetidas a diferentes níveis de irrigação.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de Estudo**

O experimento foi realizado em um viveiro da Universidade Federal Rural de Pernambuco na Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST, localizada no município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (07° 59'31''S, 38° 17'54''W), a 444 m de altitude, entre os meses de janeiro a junho de 2018. De acordo com de Köppen e Geiger (1995), o clima é do tipo BSw<sup>h</sup> semiárido, quente e seco, com ocorrências de chuvas entre os meses de dezembro a maio e, com uma média anual de aproximadamente 653 mm/ano (SANTOS, 2013). O viveiro no qual o experimento foi conduzido, apresentava as suas laterais revestidas com sombrite à 70%, e, na parte superior do viveiro um plástico do tipo policloreto de vinila (PVC) transparente, para evitar entrada de água da chuva. As condições ambientais foram monitoradas por meio de uma estação meteorológica pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET ([www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)) localizada a aproximadamente 270 m de distância do local do experimento. Dentro do viveiro a temperatura e umidade do ar foram monitoradas por meio de um termohigrômetro (OMEGA EL-USB-2) o qual, registrava as medidas em intervalos de uma em uma hora, ao longo do dia. A interceptação luminosa foi feita por meio de um ceptômetro (AccuPAR, LP-80, Decagon Devices Inc., Pulman, USA), as quais foram realizadas na altura das plântulas em cinco plântulas de cada tratamento, no horário compreendido entre as 11:00 e 13:00 horas.

## 2.2 Preparo das Sementes e do Substrato

As sementes de *M. urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) utilizadas no experimento foram coletadas de matrizes localizadas no Parque Estadual Mata da Pimenteira, no município de Serra Talhada/PE. Foram utilizadas 120 sementes, as quais passaram por uma pré-limpeza manual para retirada de vestígios do fruto (DANTAS, et al., 2014). A sanitização das sementes foi realizada em laboratório, imersas em álcool etílico a 70% por 30 segundos, em seguida com hipoclorito de sódio a 1,3% por quatro minutos, por fim foram realizadas três lavagens com água destilada (VAIN et al., 2008).

O solo utilizado foi coletado em uma área próxima ao local do estudo, a um perfil de profundidade de zero a 20 cm, e foi classificado como Cambissolo Háptico Ta Eutrófico (solo com argila de alta atividade e de alta fertilidade) Típico (SANTOS et al., 2013). Para informações relacionadas a análise física e química do solo consultar Oresca et al. (2018).

## 2.3 Preparo e Inoculação da *Azospirillum lipoferum* (BR-11080)

O inoculante foi produzido com uma amostra da *A. lipoferum* (BR-11080), que foi repicada e crescida em meio caldo nutriente (2,5 g de cloreto de sódio e 0,75 g de extrato de carne), em um erlenmeyer de 500 ml, sendo agitado por 48 horas (agitador magnético – GL – 3250A) em temperatura ambiente. Após o crescimento bacteriano, a suspensão foi centrifugada à 9.000 rpm por 3 minutos, e o sobrenadante foi descartado. Em seguida, adicionou-se 4 mL de água destilada e esterilizada para ressuspensão do precipitado. Realizou-se a leitura de densidade ótica (DO) das soluções, no espectrofotômetro (Biochrom Libra S70), ajustando essas leituras com a adição de água destilada esterilizada até atingir uma densidade ótica (DO) de aproximadamente 1,0 à 535 nm, indicando com essa leitura a presença de  $10^8$  Unidades Formadoras de Colônia (UFC) mL<sup>-1</sup> de solução (KUSS *et al.*, 2007). A inoculação foi realizada através do contato das sementes com a suspensão da *A. lipoferum* em placas de Petri durante duas horas. As sementes que não receberam inoculação (controle) permaneceram em contato com água destilada esterilizada por igual período.



## 2.4 Semeadura e Crescimento das Plântulas

As sementes de *M. urundeuva*, foram semeadas em bandejas de germinação, composta por 30 células, as quais foram preenchidas com o substrato (solo) e previamente irrigadas antes da semeadura. Sessenta sementes foram utilizadas para os tratamentos com a inoculação de *A. lipoferum* e 60 sementes não foram inoculadas (controle). Três semanas após a germinação as plântulas foram transplantadas para vasos de 3,8 L de capacidade. Durante um período adaptativo de 30 dias as plântulas foram irrigadas à 100% da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>). Após este período todas as plântulas foram submetidas ao tratamento de déficit hídrico, baseando-se na ET<sub>0</sub> de 100% (controle), 50% (moderado) e 25% (severo) respectivamente. A temperatura foliar foi aferida quinzenalmente ao longo do dia, utilizando um termômetro com infravermelho (ScanTemp - 600.00).

As plântulas de *M. urundeuva* caracterizam-se por ser uma planta decídua na estação seca, folhas compostas e imparipinadas possuindo de onze a quinze folíolos, seus frutos são do tipo drupa globosa ou ovoide, com cálice persistente, considerando-se um fruto-semente (PARAEYN et al., 2018).

## 2.5 Análises Biométricas e de Biomassa

As análises biométricas das plântulas foram realizadas quinzenalmente, conforme Benincasa (1986), durante um período de 75 dias entre os meses de abril e junho de 2018. Utilizou-se três plântulas de cada tratamento, das quais se avaliou: altura da parte aérea, aferido do colo até a gema apical com o auxílio de uma trena manual e o diâmetro do coleto, aferido com o auxílio de um paquímetro digital (Stainless Hardened). As medidas de produção de biomassa foram realizadas ao final do experimento, sendo selecionadas três plântulas de cada tratamento, as quais foram separadas em folhas, caule e raiz. As folhas e os caules foram imediatamente pesados em balança digital semi analítica para a obtenção do peso fresco. As folhas incluindo o pecíolo, foram digitalizadas em scanner de mesa para a determinação da área foliar e área foliar específica (área foliar/peso seco foliar) por meio do programa Lafore ([www.landeco.uni-oldenburg.de/21342.html](http://www.landeco.uni-oldenburg.de/21342.html)) (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). Para as raízes foram medidos o comprimento e o diâmetro da raiz de reserva. Após estes procedimentos todo o material foi colocado separadamente em sacos de papel e

mantidos em estufa a 60° C por um período de 72 horas, em seguida foram pesados novamente para determinação da massa seca das frações.

## 2.6 Teores de Clorofilas

Os teores de clorofila *a*, *b* e *total* foram mensurados com um clorofilômetro (CFL 1030 Falker), que mede a quantidade de radiação transmitida por meio das folhas, de forma óptica, em três diferentes comprimentos de onda (dois na faixa do vermelho, próximo aos picos de absorção da clorofila e um no infravermelho próximo). Para as leituras foram utilizadas folhas totalmente expandidas e expostas a radiação solar, seguindo as especificações do fabricante (FALKER, 2008).

As leituras foram realizadas nos horários compreendidos entre 8:00 e 11:00 h da manhã. Posteriormente, realizou-se a extração direta de clorofila pelo método proposto por Telles et al. (1977) realizando-se leituras das amostras em espectrofotômetro (modelo Biochrom Libra S70) na faixa espectral de 645, 652 e 663 nm, correspondentes aos valores de clorofila *a*, *b* e total, respectivamente. Foram realizados os dois métodos com a finalidade de calibrar o equipamento (clorofilômetro).

## 2.7 Análises Fotossintéticas

As medidas foram realizadas em três plântulas de cada tratamento entre às 9:00 e 11:00 horas, utilizando a terceira folha, a partir do ápice, totalmente expandida e em perfeito estado fitossanitário (SANTOS JÚNIOR et al., 2006). Estas medidas foram realizadas quinzenalmente, durante todo o experimento. Para isto, utilizou-se um analisador de gases por infra-vermelho (IRGA) modelo L1-6400XT, LICOR, EUA, com uma intensidade luminosa de 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , e  $\text{CO}_2$  de 400  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  (SANTOS JÚNIOR et al., 2006). Foram avaliadas: fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), taxa transpiratória (*E*), concentração interna de  $\text{CO}_2$ , eficiência instantânea de transpiração (*A/E*) e eficiência intrínseca do uso de água (*A/g<sub>s</sub>*).

## 2.8 Potencial Hídrico Foliar

As medidas do potencial hídrico foliar foram realizadas no momento final do experimento (aos 75 dias), ao amanhecer, usando uma folha em perfeito estado fitossanitário, completamente expandida e não senescente, localizada na região mediana da plântula. Foi utilizada nesta avaliação a câmara de pressão do tipo Scholander (Modelo 3005F01) (SHOLANDER et al., 1965).

## 2.9 Dano de Membrana

O dano de membrana foi realizado para os tratamentos com e sem inóculo e de 100% e 25% da ET0. Para a determinação do dano de membrana foi utilizado a metodologia de extravasamento de eletrólitos, conforme Shanahan *et al.* (1990). Nesta análise o dano de membrana é determinado pela seguinte equação:

$DM = 253 (C1 \div C2) \times 100$ , onde:

DM= Dano de membrana;

C1= Condutividade elétrica inicial;

C2= Condutividade elétrica final.

## 2.10 Conteúdo Relativo de Água

O conteúdo relativo de água (CRA) foi realizado conforme metodologia de Slavik (1979), para os tratamentos com e sem inóculo e de 100 e 25%. O CRA foi determinado por meio da seguinte fórmula:

$$C.R.A. = \frac{MF - MS}{MT - MS} \times 100, \text{ onde:}$$

C.R.A = Conteúdo relativo de água;

MF= Massa fresca;

MS= Massa seca;

MT= Massa túrgida.

## 2.11. Análise Estatística

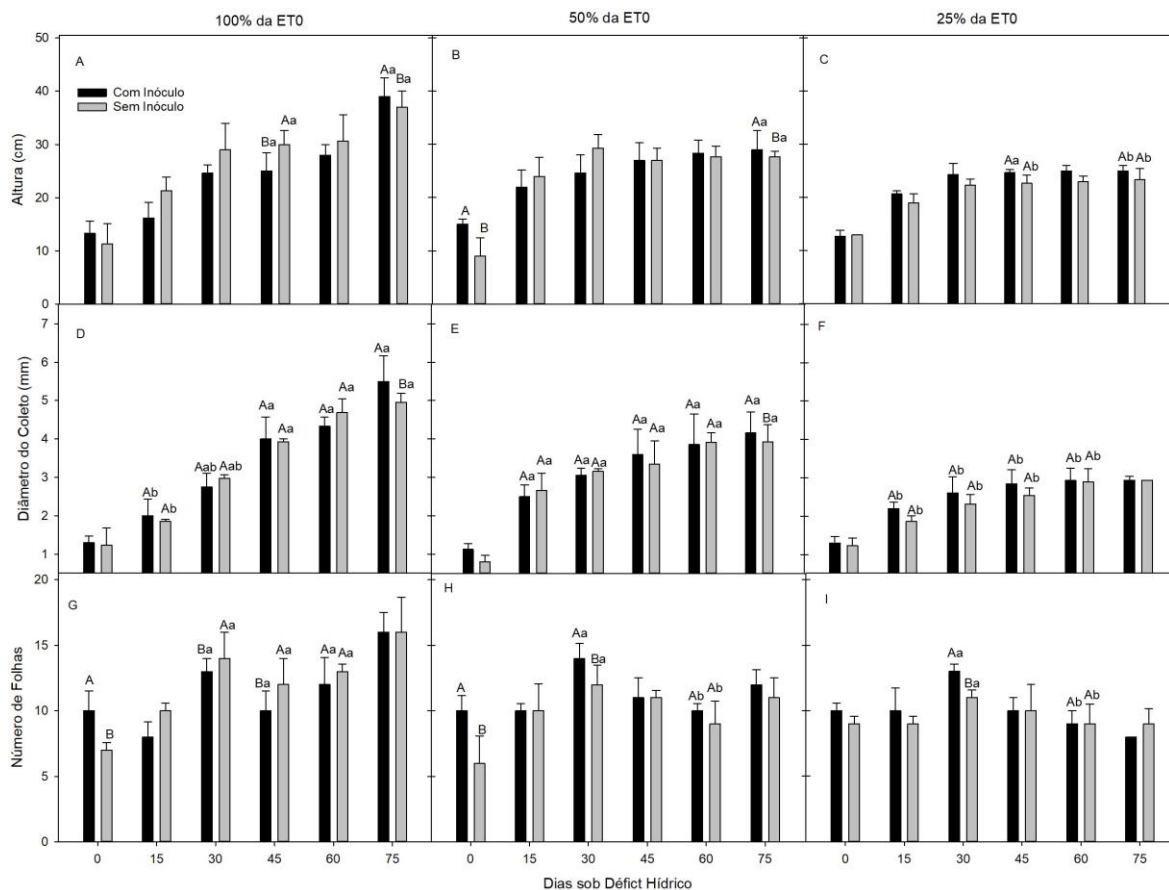
O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x3 (com e sem inóculo x três níveis de déficit) com 15 repetições. Para a análise dos dados, foi realizada uma ANOVA fatorial, com todos os tratamentos, respeitando os pré-requisitos de normalidade e homocedasticidade. Quando constatado diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de tukey ( $P < 0,05$ ). Os dados foram analisados com o software R versão 3.5.0, e os gráficos foram gerados por meio do software Sigma Plot, versão 14.

As análises de componentes principais (PCA's) foram realizadas para averiguar possíveis agrupamentos e definir as variáveis mais importantes para os tratamentos com e sem inóculo. Os dados foram transformados para padronização em virtude da diferença de magnitude e escala. As PCA's foram geradas por meio do software R versão 3.5.0.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Biometria e Biomassa

Ao término do experimento (aos 75 dias) as plântulas de *Myracrodouon urundeuva* submetidas a inoculação da *Azospirillum lipoferum* e sob déficit moderado e severo apresentaram alturas de 12% e 7%, respectivamente, superior às plântulas sem inóculo, observando-se que todas as plântulas apresentaram diminuição gradativa da altura, variando conforme a aplicação dos tratamentos de déficit hídrico (Figura 1- A). Para o diâmetro do coleto ao término do experimento as plântulas inoculadas se sobressaíram, verificando-se diferença significativa entre os tratamentos controle (10%) e moderado (6%) de déficit hídrico (Figura 1- D, E). O número de folhas ao longo do experimento apresentou variação, entretanto ao final do experimento as plântulas inoculadas do déficit hídrico moderado possuíam 10% a mais de folhas que as plântulas sem inóculo.



**Figura 1.** Altura da planta (mm) (A, B, C), diâmetro do coleto (mm) (D, E, F) e número de folhas (G, H, I) em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* com e sem inóculo (*Azospirillum lipoferum*) sob três níveis de déficit hídrico (100%, 50% e 25% da ET<sub>0</sub>), letras maiúsculas representam diferenças entre os tratamentos de inoculação, letras minúsculas representam diferença entre os tratamentos de irrigação.

A biomassa foliar das plântulas inoculadas foi superior em relação as plântulas sem inóculo para os tratamentos controle (36%), moderado (6%) e de déficit hídrico severo (17%), conforme apresentado na tabela 1. Comportamento semelhante observou-se para a biomassa do caule e a biomassa aérea total, as quais para o tratamento controle e de déficit hídrico severo apresentaram médias variando entre 20% a 30% (Tabela 1). Este mesmo padrão foi verificado-se para a área foliar, que teve um aumento de 42% para o tratamento controle e 27% para o déficit hídrico severo (Tabela 1). Apesar desta variação entre os tratamentos, a área foliar específica foi diferenciada somente no tratamento moderado de déficit hídrico, com aumento de 16%. A biomassa das raízes finas também foi maior para as plântulas inoculadas dos tratamentos controle (17%) e de déficit hídrico severo (23,6%). A quantidade de água na

raiz de reserva foi superior a 20% para as plântulas inoculadas do tratamento controle e 16% para o moderado (Tabela 1).

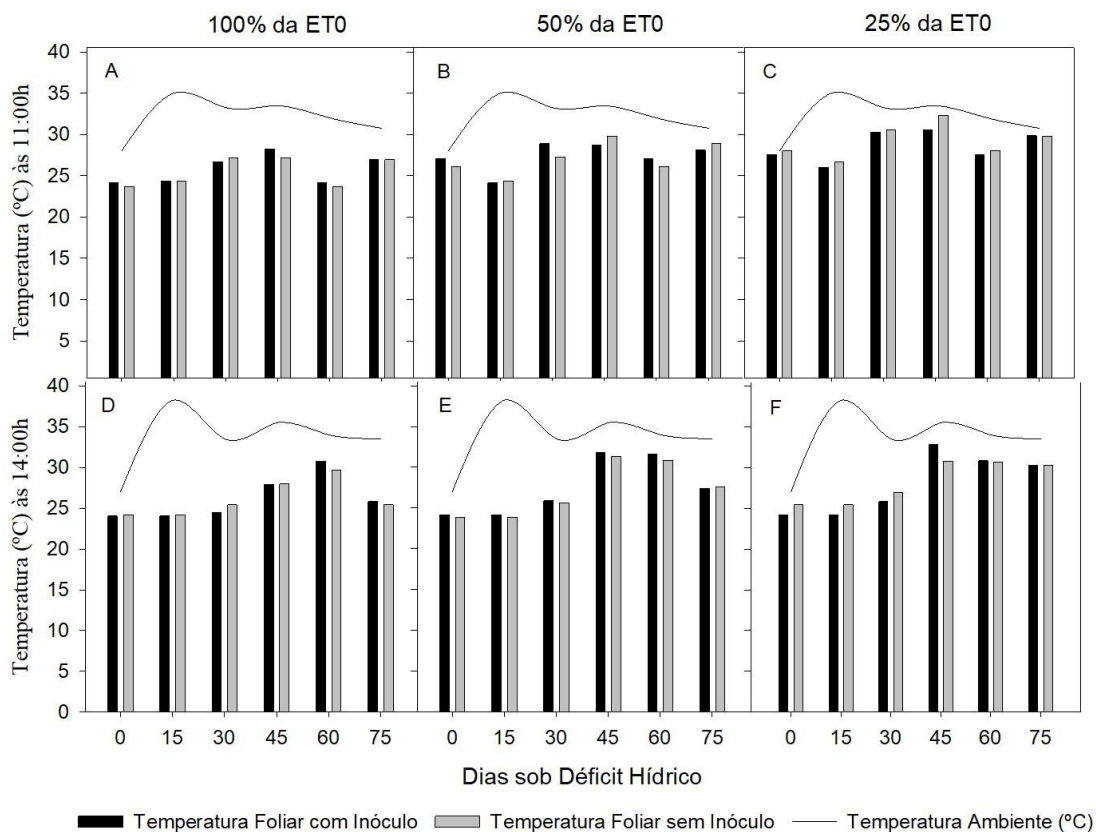
**Tabela 1.** Biomassa de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão cultivadas sob diferentes condições de déficit hídrico (% ET0), com (C.I.) e sem (S.I.) inóculo. BF = biomassa foliar; AF= área foliar; AFE = área foliar específica; BC = biomassa caule; BAT= biomassa aérea total; BRG= biomassa raízes grossas; BRF biomassa raízes finas; BRT= biomassa raiz total; RRPA= razão raiz parte aérea; QARR= quantidade de água na raiz reserva; CR= comprimento da raiz; DR= diâmetro da raiz.

Variável	Tratamentos					
	100 %	100 %	50 %	50 %	25 %	25 %
	ET0/C.I.	ET0/S.I.	ET0/C.I.	ET0/S.I.	ET0/C.I.	ET0/S.I.
<b>BF</b>	2,67 Aa	1,70 Ba	0,92 Ab	0,87 Aab	0,60 Ab	0,50 Ab
<b>AF</b>	584,60 Aa	339,66 Ba	201,99 Ab	208,44 Aa	138,67 Ab	101,34 Ab
<b>AFE</b>	216,83 Aa	201,80 Aa	218,14 Aa	188,79 Aa	228,57 Aa	207,93 Aa
<b>BC</b>	1,760 Aa	1,396 Ba	0,597Ab	0,845 Ab	0,429 Ab	0,309 Ac
<b>BAT</b>	4,436 Aa	3,100 Bb	1,525 Ab	1,946 Ab	1,032 Ab	0,816 Ac
<b>BRG</b>	11,878 Aa	13,000 Aa	8,769 Ab	10,262 Ab	2,510 Ac	3,473 Ac
<b>BRF</b>	0,541 Aab	0,448 Aab	0,340 Aa	0,751 Aa	0,250 Ab	0,191 Ab
<b>BRT</b>	12,419 Aa	13,448 Aa	9,109 Ab	11,013 Ab	2,760 Ac	3,665 Ac
<b>RRPA</b>	2,813 Bb	4,329 Ab	6,005 Aa	5,941 Aa	2,736 Bb	5,130 Ab
<b>QARR</b>	8,875 Aa	7,084 Aa	3,638 Ab	3,053 Ab	0,924 Ab	0,912 Ab
<b>CR</b>	61,333 Aa	51,000 Ba	50,000 Aa	50,366 Aa	43,766 Aa	43,333 Aa
<b>DR</b>	7,523 Aa	9,130 Aa	6,303 Aa	7,336 Aa	5,430 Aa	3,526 Ab

Letras maiúsculas diferentes entre linhas representam diferença entre os tratamentos com e sem inóculo pelo teste de Tukey a 5% de significância, letras minúsculas diferentes entre linhas representam diferença entre os tratamentos de déficit hídrico pelo teste de Tukey a 5% de significância.

As maiores variações de temperatura foliar ocorreram aos 75 dias, no horário das 14:00 horas, no qual ocorreu um aumento de temperatura de aproximadamente 5°C a mais nas plântulas do tratamento de déficit severo em comparação às do controle. Entretanto,

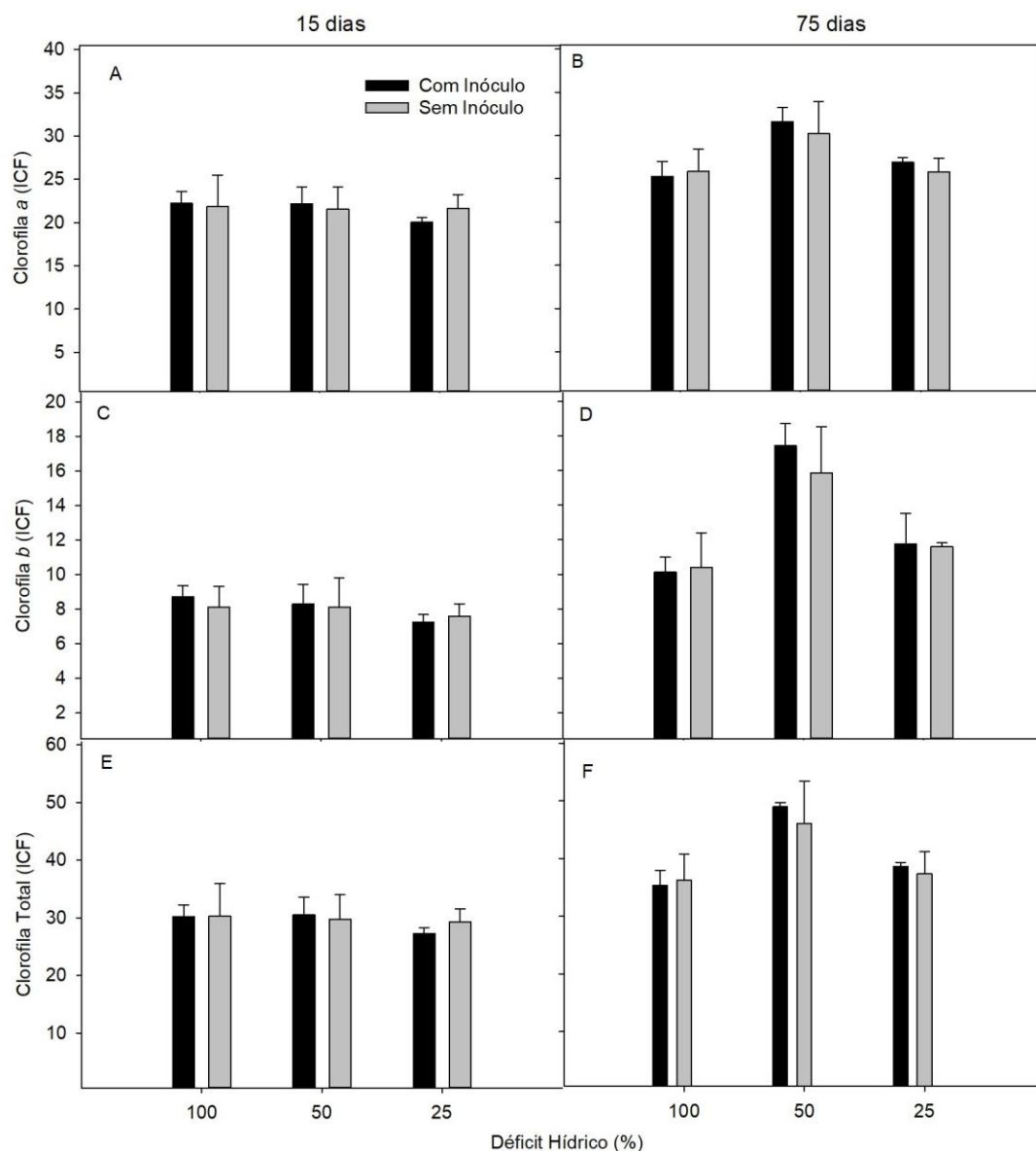
observou-se que no início do experimento, aos 15 dias, já havia aumento de 6,42% da temperatura foliar no tratamento de déficit hídrico severo, às 11:00 (Figura 2).



**Figura 2.** Temperatura foliar e do ambiente, às 11:00 e 14:00 horas em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão inoculadas com *Azospirillum lipoferum* diferentes condições de déficit hídrico (% ET0).

### 3.2 Teores de Clorofila

Os teores de clorofila apresentaram variação aos 75 dias. Verificou-se que as plântulas com inóculo e sob estresse moderado apresentaram aumento de 30% dos teores de clorofila *a* em relação ao início do experimento, enquanto que para as plântulas sem inóculo esse aumento foi de 28% (Figura 3). Este mesmo padrão ocorreu para os teores de clorofila *b* e total, no qual para as plântulas inoculadas e sob déficit moderado os aumentos foram de 52% para clorofila *b* e 38% para os teores de clorofila total, para as plântulas sem inóculo e sob o mesmo tratamento de déficit hídrico esse aumento foi de 48% e 35%, respectivamente, em relação ao início dos tratamentos de déficit hídrico (Figura 3).



**Figura 3.** Níveis de clorofila *a* aos 15 (A) e 75 (B) dias, *b* (C-D) e total (E-F) em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão inoculadas com *Azospirillum lipoferum* sob diferentes condições de déficit hídrico (% ET0).

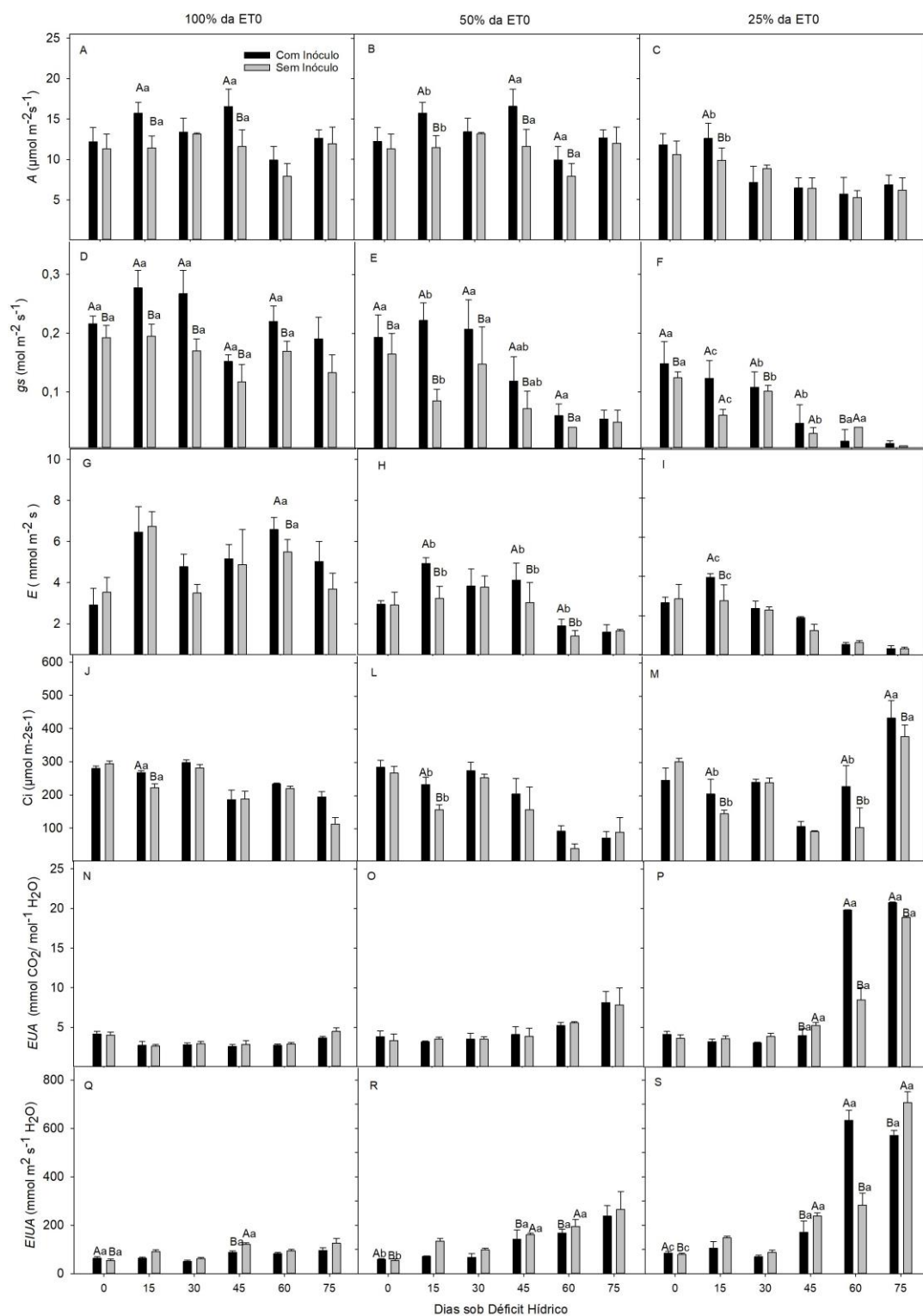
### 3.3 Parâmetros Fisiológicos

A fotossíntese, aos 15 dias de aplicação dos tratamentos de déficit hídrico apresentou as maiores médias para as plântulas inoculadas dos tratamentos moderado (27%) e de déficit hídrico severo (21,75%) comparando-se com as plântulas sem inóculo (Figura 4- B, C). Para este mesmo período, a condutância estomática também apresentou as maiores médias para as plântulas inoculadas sob déficit hídrico moderado (61%) e severo (45%), conforme figura 4-



E, F. Verificou-se também que nas plântulas inoculadas a fotossíntese sempre apresentou maiores valores (Figura 4- A, B). Por outro lado, a fotossíntese das plântulas com déficit hídrico severo caiu significativamente ao final do experimento, independente de estarem com ou sem inoculação (Figura 4- C).

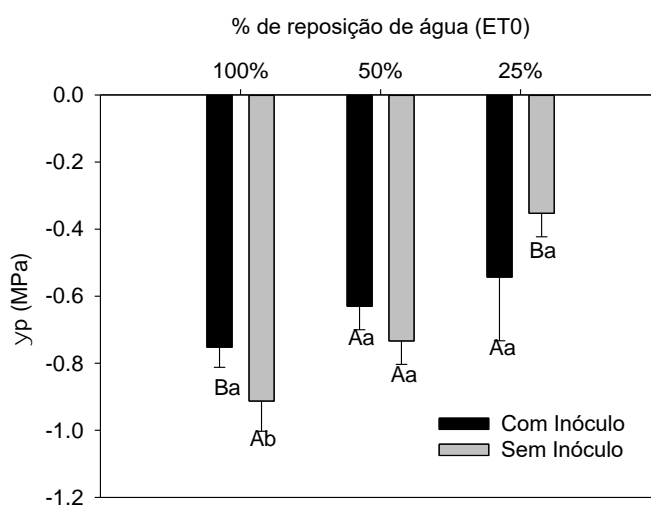
A condutância estomática e a transpiração foram maiores significativamente para as plântulas inoculadas do tratamento controle de déficit hídrico até os 60 dias (Figura 4- D, G). Para as plântulas submetidas a déficit hídrico moderado e severo a condutância estomática caiu a partir dos 45 dias e a transpiração a partir dos 30 dias (Figura 4-E, F, H, I). Além disso, verificou-se que nas duas maiores lâminas (controle e moderado) as plântulas com inóculo tiveram maiores condutância e transpiração (Figura 4-D, E, G, H), o que não aconteceu para o déficit hídrico severo, no qual a inoculação não influenciou nestes parâmetros. Isso refletiu na eficiência do uso da água, a qual as plântulas sob déficit hídrico severo ao final do experimento (75 dias) apresentaram maiores valores (Figura 4-P).



**Figura 4.** Taxa de fotossíntese líquida (A, B, C), condutância estomática (D, E, F), transpiração (G, H, I), concentração interna de CO<sub>2</sub> (J, L, M), eficiência do uso da água (N, O, P) e eficiência intrínseca do uso da água (Q, R, S) em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, inoculadas com *Azospirillum lipoferum* submetida a três níveis diferentes níveis de déficit hídrico (100% da ET<sub>0</sub>, 50% da ET<sub>0</sub> e 25% da ET<sub>0</sub>) ao longo de um período de 75 dias.

### 3.4 Potencial Hídrico Foliar

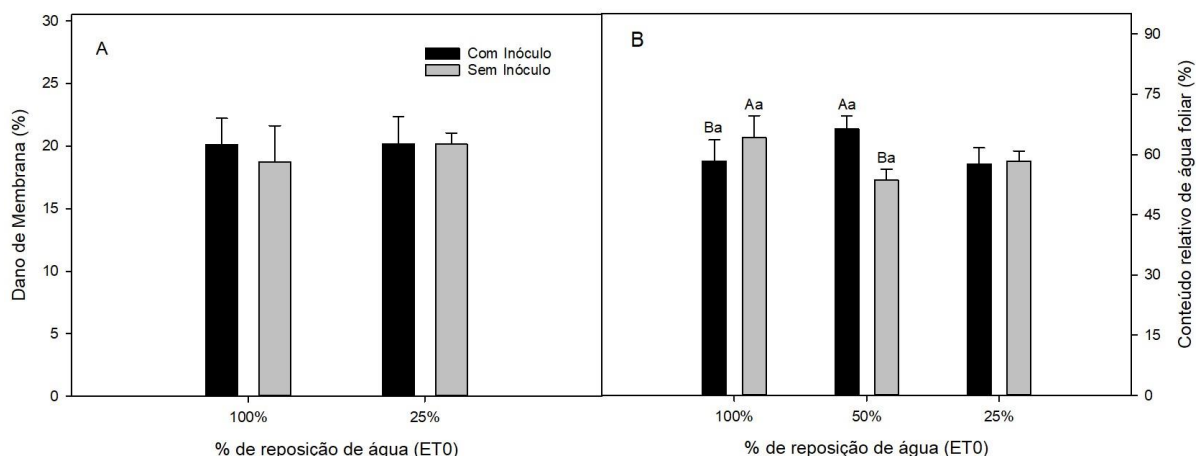
O potencial hídrico foliar foi variável entre os tratamentos de estresse e de inoculação. As plântulas inoculadas e sob déficit hídrico severo apresentaram potencial hídrico foliar 35% mais negativo do que as plântulas sem inóculo (Figura 5). O contrário ocorreu para as plântulas do tratamento controle (14%) e do tratamento moderado de déficit hídrico (17,61%), nas quais o potencial hídrico foi mais negativo para as plântulas sem inóculo (Figura 5).



**Figura 5.** Potencial hídrico foliar em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, inoculadas com *Azospirillum lipoferum* submetida a três níveis de déficit hídrico (100% da  $ET_0$ , A; 50% da  $ET_0$ , B; 25% da  $ET_0$ , C).

### 4.5 Dano de Membrana e Conteúdo Relativo de Água

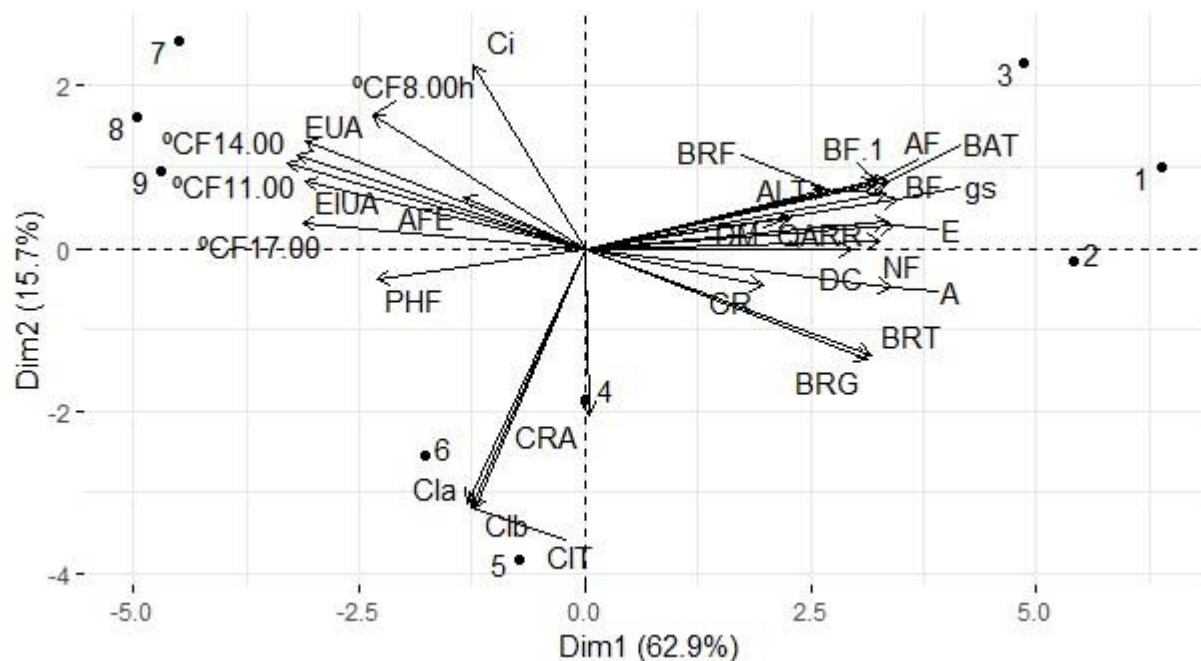
Não ocorreu variação entre os tratamentos de inoculação para a análise de dano de membrana (Figura 6). Contudo, para o conteúdo relativo de água as plântulas sem inóculo do tratamento controle de déficit hídrico apresentaram maior porcentagem (10%) em relação as plântulas sem inóculo (Figura 6). Observou-se o inverso para o tratamento de déficit hídrico moderado, no qual as plântulas inoculadas se sobressaíram com conteúdo relativo de água 19% superior. As plântulas sob déficit hídrico severo não apresentaram diferença entre os tratamentos de inoculação (Figura 6).



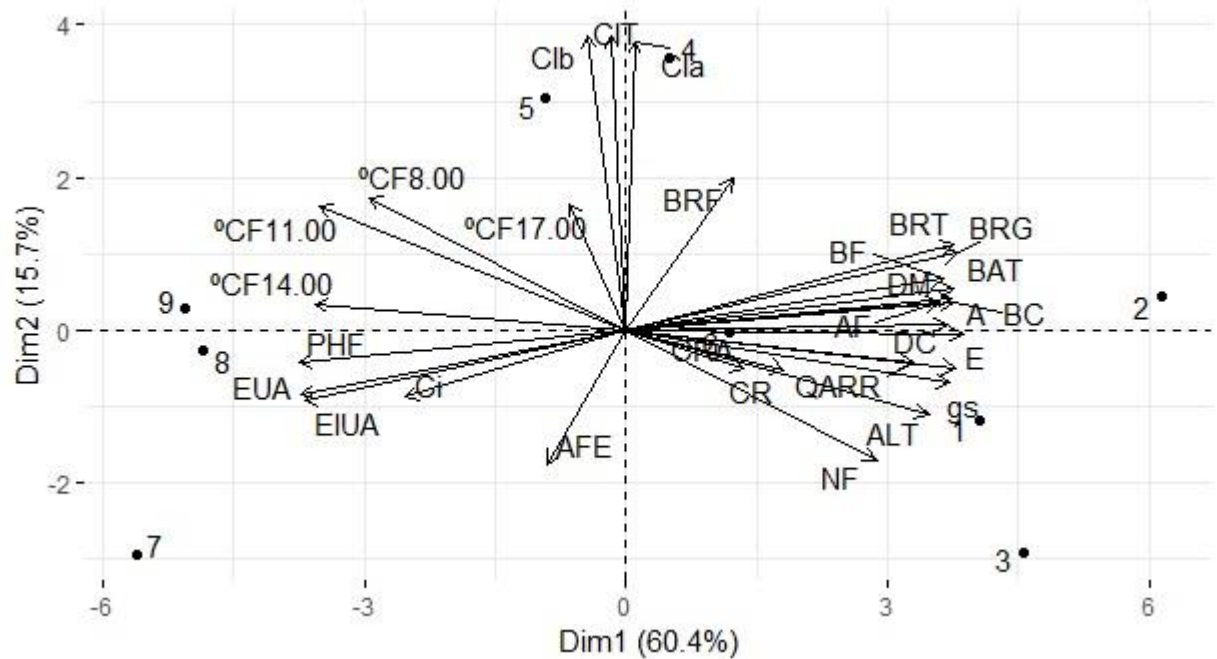
**Figura 6.** Dano de membrana (A- 100% e 25% da ET0) e conteúdo relativo de água (B – 100%, 50% e 25% da ET0) em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, inoculadas com *Azospirillum lipoferum* submetida a diferentes níveis de estresse hídrico.

A análise de componentes principais realizada para os parâmetros biométricos e ecofisiológicos das plântulas *Myracrodruon urundeuva* submetidas a inoculação *A. lipoferum* explicou 78,6% da variabilidade total dos dados (Figura 7). Destes 62,9% são correspondentes a componente principal 1 (PC1) e 15,7% correspondem a componente principal 2 (PC2). Para a PC1, as variáveis mais relevantes e seus coeficientes de correlação foram: condutância estomática ( $r = 0,96$ ), transpiração ( $r = 0,94$ ), fotossíntese ( $r = 0,93$ ), biomassa aérea total ( $r = 0,92$ ), quantidade de água na raiz de reserva ( $r = 0,91$ ) e biomassa foliar ( $r = 0,90$ ). Para a PC2 as variáveis mais relevantes com seus respectivos coeficientes de correlação foram: clorofila *a* ( $r = 0,75$ ), clorofila *b* ( $r = 0,65$ ), clorofila total ( $r = 0,71$ ) e concentração interna de  $CO_2$  ( $r = 0,67$ ) (Figura 7).

Para as plântulas sem inóculo a análise de componentes principais explicou 76,1% da variabilidade total dos dados, destes 60,4% para PC1 e 15,7% para a PC2 (Figura 8). Para a PC1, as variáveis mais relevantes e seus coeficientes de correlação foram: fotossíntese ( $r = 0,95$ ), biomassa raízes grossas ( $r = 0,92$ ), transpiração ( $r = 0,91$ ), biomassa caule ( $r = 0,90$ ) e biomassa total das raízes ( $r = 0,89$ ). Para a PC2 as variáveis que apresentaram maior relevância foram: potencial hídrico ( $r = 0,89$ ), eficiência do uso da água ( $r = 0,88$ ), eficiência intrínseca do uso da água ( $r = 0,86$ ).



**Figura 7.** Análise de componentes principais em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, inoculadas com *Azospirillum*, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico (ALT= Altura, DC= Diâmetro do coleto, NF= Número de folhas, BF= Biomassa Foliar, AF= Área Foliar, AFE= Área Foliar Específica, BC= Biomassa Caule, BAT= Biomassa Aérea Total, BRG= Biomassa Raízes Grossas, BRF= Biomassa Raízes Finas, BRT= Biomassa Raiz Total, QARR= Quantidade de Água na Raiz de Reserva, CR= Comprimento da Raiz, DR= Diâmetro da Raiz, PHF= Potencial Hídrico, CRA= Conteúdo Relativo de Água, °CF8:00= Temperatura Foliar às 8:00 horas, °CF11:00= Temperatura Foliar às 11:00, °CF14:00= Temperatura Foliar às 14:00 horas, °CF17:00= Temperatura Foliar às 17:00, A= Fotossíntese, gs= Condutância Estomática, E= Transpiração, Ci= Concentração Interna de CO<sub>2</sub>, EUA= Eficiência do uso da água, EIU= Eficiência Intrínseca do Uso da Água, Cla= Clorofila a, Clb= Clorofila b, Clt= Clorofila total).



**Figura 8.** Análise de componentes principais em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, sem inoculação, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico (ALT= Altura, DC= Diâmetro do coleto, NF= Número de folhas, BF= Biomassa Foliar, AF= Área Foliar, AFE= Área Foliar Específica, BC= Biomassa Caule, BAT= Biomassa Aérea Total, BRG= Biomassa Raízes Grossas, BRF= Biomassa Raízes Finas, BRT= Biomassa Raiz Total, QARR= Quantidade de Água na Raiz de Reserva, CR= Comprimento da Raiz, DR= Diâmetro da Raiz, PHF= Potencial Hídrico, CRA= Conteúdo Relativo de Água, °CF8:00= Temperatura Foliar às 8:00 horas, °CF11:00= Temperatura Foliar às 11:00, °CF14:00= Temperatura Foliar às 14:00 horas, °CF17:00= Temperatura Foliar às 17:00, A= Fotossíntese, gs= Condutância Estomática, E= Transpiração, Ci= Concentração Interna de CO<sub>2</sub>, EUA= Eficiência do uso da água, EIU= Eficiência Intrínseca do Uso da Água, Cla= Clorofila a, Clb= Clorofila b, Clt= Clorofila total).

#### 4 DISCUSSÃO

No presente estudo, a inoculação da rizobactéria *A. lipoferum* conferiu um melhor desempenho para as variáveis biométricas e de biomassa para as plântulas *M. urundeuva* e sob efeitos de déficit hídrico. Aos 75 dias de aplicação dos tratamentos de déficit hídrico, as plântulas inoculadas apresentaram maior crescimento (Figura 1) e incremento de biomassa foliar e biomassa do caule (Tabela 1). Estes resultados influenciaram diretamente a biomassa aérea total, que apresentaram maiores incrementos para as plântulas inoculadas do tratamento

controle (30%) e de déficit hídrico severo (20%), apontando com isso a eficiência da inoculação da *A. lipoferum* nas plântulas submetidas a déficit. O maior crescimento e incremento de biomassa apresentados para as plântulas inoculadas. O maior crescimento e incremento de biomassa apresentados para as plântulas inoculadas é justificado pela melhor performance fotossintética e de condutância estomática para este tratamento. A inoculação de rizobactéria em plântulas de milho sob déficit hídrico também conferiu aumentos de biomassa da parte aérea em torno de 30% segundo Baldotto et al. (2012).

Apesar do efeito positivo das RPCP, percebeu-se que o deficit hídrico reduziu gradativamente os valores biométricos das plântulas, independente dos tratamentos. Estas diminuições estão relacionadas com a redução da pressão de turgor que ocorre em plantas submetidas a restrições hídricas (CATUCHI et al., 2012, SCALON et al, 2011). No trabalho desenvolvido por Oliveira et al. (2018) com plântulas de *M. urundeuva*, inoculadas com *A. lipoferum* e sob efeitos de estresse hídrico, também foi encontrado biomassa superior para as plântulas inoculadas em relação as sem inóculo. Os maiores valores de área foliar e área foliar específica para os tratamentos controle, moderado e severo, registrados neste trabalho (Tabela 1) sugerem que houve atuação positiva da inoculação da rizobactéria no aumento da área foliar específica das plântulas sob efeitos de estresse hídrico, tendo como consequência maior captura de luz, fotossíntese (Figura 4) e crescimento (Figura 1). Entretanto, naturalmente, plântulas sob efeitos de déficit hídrico apresentam redução da área foliar específica (KADAM et al., 2015).

A inoculação da *A. lipoferum* aumentou a biomassa das raízes finas das plântulas do tratamento controle e de déficit hídrico severo em aproximadamente 23%. A quantidade de água nas raízes de reserva apresentou valores superiores para as plântulas inoculadas dos tratamentos controle (20%) e moderado (16%) de déficit hídrico (Tabela 1), semelhante ao registrado por Oliveira et al. (2018). O aumento de raízes primárias e secundárias em resposta a inoculação de rizobactérias relaciona-se a produção e/ou sinalização da rota de biossíntese do hormônio ácido indolacético (AIA) nas raízes (ASTRIANI et al., 216).

A inoculação da *A. lipoferum* não interferiu na temperatura foliar das plântulas de *M. urundeuva* (Figura 2), possivelmente devido ao controle da condutância estomática das plântulas a fim de mantê-las resfriadas. Contudo, as temperaturas foliares foram mais elevadas (5°C) para os tratamentos moderado e severo de déficit hídrico (Figura 2). Este comportamento justifica-se devido a transpiração reduzida, reduzindo a perda de calor para a atmosfera (GONTIA; TIWARI, 2008; WANG; GARTUNG, 2010).

Além do aumento da temperatura foliar o déficit hídrico provocou reduções no potencial hídrico foliar e conteúdo relativo de água em decorrência da diminuição da condutância estomática e transpiração acarretando em reduções acentuadas na taxa fotossintética (AYAN et al., 2014; TAIZ et al., 2017). No presente trabalho verificou-se que as plântulas sem inóculo do tratamento controle e de déficit hídrico moderado apresentaram potencial hídrico foliar mais negativo (14% e 17,61%, respectivamente) que as plântulas inoculadas (Figura 5). Para o conteúdo relativo de água as plântulas sob tratamento de inoculação e déficit hídrico moderado apresentaram os maiores valores em porcentagem (19%) em relação as plântulas não inoculadas (Figura 6). Plântulas de *M. urundeuva* sob déficit hídrico e inoculadas com *A. lipoferum* apresentam maior potencial hídrico foliar e menor dano de membrana, apontando a atuação da rizobactéria (OLIVEIRA et al., 2018). Em área de Caatinga o potencial hídrico foliar em plântulas de *M. urundeuva* aproxima-se de -0,3 Mpa, para o período chuvoso (TROVÃO et al., 2008). Estes valores relacionam-se com a presença de raízes de reserva existente nesta espécie, as quais armazenam água e nutrientes (FELICIANO; MARANGON; HOLANDA, 2008). Para o presente estudo, a quantidade de água nas raízes de reserva foi superior para as plântulas inoculadas dos tratamentos controle (20%) e moderado de déficit hídrico (16%) em relação as plântulas sem inóculo (Tabela 1), sugerindo que a inoculação nas plântulas sob déficit hídrico moderado contribui para um maior desenvolvimento de raízes e conseqüentemente acúmulo de água nas raízes de reserva. A formação de raízes em resposta a inoculação de rizobactérias possivelmente está relacionada com a produção de hormônios como o ácido indolacético (ADESEMOYE et al., 2008).

Outra variável afetada pelo déficit hídrico é o teor de clorofila, para este estudo os maiores teores de clorofilas a, b e total observados nas plântulas inoculadas certamente favoreceu uma melhor performance fotossintética em condições de estresse. Estes resultados divergem com os citados por Sun et al. (2013) e Abdelgawad et al. (2015) para plântulas de *Chrysanthemum morifolium* e *Lotus corniculatus*, as quais apresentaram menores teores de clorofilas para as plântulas sob efeitos de déficit hídrico. De acordo com Ashraf e Harris (2013), plantas sob condições de déficit hídrico é a capacidade em manter níveis adequados de clorofilas, que se relaciona diretamente com a eficiência fotossintética (ASHRAF; HARRIS, 2013).

As trocas gasosas (fotossíntese, condutância estomática e transpiração) mostraram variação em relação aos tratamentos de inoculação, as quais apresentaram maiores médias



para as plântulas inoculadas (Figura 4). Conforme aumentou-se o déficit hídrico, a condutância estomática apresentou variação, conforme visto em diversos trabalhos (FERNANDES et al., 2015; SANTOS et al., 2012) e em C4 (HU et al., 2010; ZHOU et al., 2013). Neste trabalho, as diferentes condições de déficit hídrico acarretaram em diminuições da condutância estomática, entretanto, as plântulas sob efeitos de inoculação da *A. lipoferum* e sob os tratamentos controle e de déficit hídrico moderado e severo se sobressaíram em relação às plântulas não inoculadas (Figura 4- D, E, F). Estes resultados refletem nas variáveis de fotossíntese e transpiração, nas quais as plântulas inoculadas apresentaram maiores valores (Figura 4- A, B, C; G, H, I). Estes resultados sugerem que a inoculação da *A. lipoferum* influencia positivamente na abertura estomática. Resultados semelhantes foram encontrados em plantas de arroz inoculadas com rizobactérias (NASCENTE et al., 2016). Mesmo sendo atenuado os efeitos do déficit hídrico nas plântulas inoculadas, aos 75 dias, foram registrados maiores valores de concentração interna de CO<sub>2</sub>, sugerindo baixo consumo de carbono na fotossíntese.

A eficiência instantânea do uso da água, que é a relação entre fotossíntese e transpiração, apresentou ao término do experimento os melhores resultados para as plântulas inoculadas e sob efeitos de déficit hídrico severo (Figura 4- P), relacionando-se com os resultados de potencial hídrico foliar, os quais apresentaram-se menos negativo para as plântulas inoculadas submetidas a déficit hídrico severo. Comportamento semelhante ocorreu com a eficiência intrínseca da água, relação entre fotossíntese e condutância estomática (Figura 4- S). Estudos realizados por Bresson et al. (2013) apontam que plântulas inoculadas e sob efeito de estresse hídrico apresentaram um melhor desempenho desta variável. Os dados encontrados para este trabalho apontaram que as plântulas inoculadas e submetidas a déficit hídrico de moderado e severo possuem maior eficiência no uso da água do que as plântulas não inoculadas submetidas aos mesmos tratamentos de estresse hídrico (Figuras 4-P e S), indicando que nestas condições as plântulas inoculadas regulam a perda de água mais eficientemente enquanto assimilam mais CO<sub>2</sub>. Os altos valores da eficiência intrínseca do uso da água são encontrados quando ocorre o fechamento parcial dos estômatos, ocasionados pelo estresse hídrico (LARCHER, 2000). Ainda que sob condições de estresse hídrico elevado, tais variáveis podem manter-se alta, como ocorreu com os estudos de Bulegon et al., (2018), trabalhando com inoculação foliar de *A. brasilense* em plantas de *U. ruziziensis*.

## 5 CONCLUSÃO

A inoculação da RPCP *A. lipoferum* atenua os efeitos do déficit hídrico em plântulas de *M. urundeuva* favorecendo a manutenção do desempenho fotossintético com maiores índices de condutância estomática, transpiração e fotossíntese, garantindo o crescimento das plântulas em condições de viveiro sob efeitos de deficiência hídrica. Contudo, se faz necessário mais estudos no que se refere a produção de hormônios vegetais induzidos pela atuação de rizobactérias, bem como avaliações em campo de plântulas sob efeitos de inoculação. A *Myracrodruon urundeuva* é uma espécie potencial para a recuperação de áreas degradadas, de grande importância para ambientes semiáridos. Os resultados deste estudo apontam possíveis avanços com a inoculação de RPCP em planta de ambientes semiárido, apontando como uma alternativa para a produção de mudas para recuperação de áreas perturbadas.

## REFERÊNCIAS

ABDELGAWAD, H.; FARFAN-VIGNOLO, E. R.; VOS, D.; ASARD, H. Elevated CO<sub>2</sub> mitigates drought and temperature-induced oxidative stress differently in grasses and legumes. **Plant Science**, v. 231, p. 1–10, 2015.

ADESEMOYE, A.O.; TORBERT, H.A.; KLOEPPER, J.W. Enhanced plant nutrient use efficiency with PGPR and AMF in an integrated nutrient management system. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 54, p. 876-886, 2008.

ARAÚJO, S.A.C.; DEMICINIS, B.B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n.4, p. 463-472, 2009.

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J. Photosynthesis under stressful environments: Na overview. **Photosynthetica**, v. 51, p. 163-190, 2013.

ASTRIANI, M; MUBARIK, N.; TJAHOLEKSONO, A. Selection of bacteria producing indole-3-Acetic acid and its application on oil palm seedlings (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Journal Microbiological**, v. 12, p. 147–154, 2016.

AYAN, L.R. Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes em condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. **Cultivos Tropicales**, Cuba, v. 35, n. 3, p. 24-35, 2014.

BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas. Jaboticabal: **FUNEP**, 1986.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; SELIGER, R.; EVA, H.D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116-127, 2015.

BRESSON, J. The PGPR strain *Phyllobacterium brassicacearum* STM196 induces a reproductive delay and physiological changes that result in improved drought tolerance in *Arabidopsis*. **New Phytologist**, v. 200, n. 2, p. 558–569, 2013.

BULEGON, L.G. RELAÇÕES HÍDRICAS, TROCAS GASOSAS E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE *Urochloa ruziziensis* INOCULADA COM *Azospirillum brasilense*, SOB DÉFICIT HÍDRICO. **Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia)**, Marechal Cândido Rondon – Paraná, 2018.

CALVO-POLANCO, M; SANCHEZ-ROMERA, B; AROCA R; ASINS, M.J; DECLERCK, S; DODD I.C; MARTINEZ-ANDUJAR, C; ALBACETE, A; RUIZ LOZANO, J.M. Exploring the use of recombinant inbred lines in combination with beneficial microbial inoculants (AM fungus and PGPR) to improve drought stress tolerance in tomato. **Environmental Experimental Botany**, v. 131, p. 47–57, 2016.

CASTRO, A.S.; CAVALCANTE, A. **Flores da caatinga**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. 116p.

CATUCHI, T.A.; VIEIRA, F.; GUIDORIZZI, C.; GUIDORIZI, K.A. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 519–527, 2012.

CHANWAY, C.P.; SHISHIDO, M.; NAIRN, J.; JUNGWIRTH, S.; MARKHAM, J.; XIAO, G. & HOLL; F.G. Endophytic colonization and field responses of hybrid spruce seedlings after inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria. **Forest Ecology Management**, v. 133, p.81-88, 2000.

DANTAS, B.F.; MATIAS, J.R.; MENDES, R. B.; Ribeiro, R.C. As sementes da Caatinga são...”: Um levantamento das características das sementes da Caatinga. **Informativo Abrates**, v. 24, n. 3, 2014.

FALKER, Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofla (ClorofLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008. p. 33.

FELICIANO, A. L. P.; MARANGON, L. C.; HOLANDA, A. C. Morfologia de sementes, de plântulas e de plantas jovens de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 1, p. 110-118, 2008.

FERNANDES, F.B.P.; LACERDA, C.F.; ANDRADE, E. M.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C. Effect of soil management on water deficit, gas exchange and cowpea yield in the semiarid region. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 506–515, 2015.

FIGUEIRÔA, J.M.; BARBOSA, D.C. A.; SIMABUKURO, E. A. Crescimento de plantas jovens de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botânica Brasilica**, v. 18, n. 3, p. 573-580, 2004.

FREITAS, S.S. Desenvolvimento de plântulas de café pela inoculação de *Pseudomonas* sp. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 13, p.31-34, 1989.

GARCIA, J.E; MARONICHE, G; CREUS, C; SUAREZ-RODRIGUEZ, R; RAMIREZ-TRUJILLO, J. A; GROPPA, M.D. In vitro PGPR properties and osmotic tolerance of different *Azospirillum* native strains and their effects on growth of maize under drought stress. **Microbiological Research**, v. 202, p. 21–29, 2017.

GONTIA, N.K.; TIWARI, K.N. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agricultural Water Management*, v. 95, p. 1.144-1.152, 2008.

GRAY, E.J.; SMITH, D.L. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil Biological And Biochemistry*, v. 37, p. 395-412, 2005.

HALDAR, S; SENGUPTA, S. Plant-microbe Cross-talk in the Rhizosphere: Insight and Biotechnological Potential. **Open Microbioly**, v. 9, p.1–7, 2015.

HOSSEINI, F; MOSADDEGHI, M.R; DEXTER, A.R. Effect of the fungus *Piriformospora indica* on physiological characteristics and root morphology of wheat under combined drought and mechanical stresses. **Plant Physiol Biochem**, v. 118, p. 107–120, 2017.

HU, L.; WANG, Z.; HUANG, B. Diffusion limitations and metabolic factors associated with inhibition and recovery of photosynthesis from drought stress in a C3 perennial grass species. **Physiologia Plantarum**, v. 139, n. 1, p. 93–106, 2010.

KADAM, N.; YIN, X.; BINDRABAN, P.; STRUIK, P. C.; JAGADISH, K. S. V. Does morphological and anatomical plasticity during the vegetative stage make wheat more tolerant of water deficit stress than rice?. **Plant Physiology**, v. 167, p. 1389–1401, 2015.

KANG, S. M; KHAN, A. L; YOU, Y. H. Gibberellin production by newly isolated strain *Leifsonia soli* SE134 and Its potential to promote plant growth. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 24 p.106–112, 2014.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthus. 1928.  
KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. Water Relations of Plants and Soils. **Academic Press**, p. 1 495, 1995.

KUMAR, A; VERMA, J.P. Does plant-microbe interactions confer stress tolerance in plants: A review?. **Microbiological Research**, v. 207, p 41-52, 2017.

KUSS, A.V.; KUSS, V.V.; HOLTZ, E.K.; LOVATO, T. Inoculação de bactérias diazotróficas e Desenvolvimento de plântulas de arroz irrigado em Solução nutritiva e câmara de crescimento. **Revista da FZVA**, v. 14, n. 2, p. 23-33, 2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, SP: Rima Artes e Textos, p 531,2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000.

LIU, F.; XING, S.; MA, H.; DU, Z.; MA, B. Cytokinin-producing, plant growth-promoting rhizobacteria that confer resistance to drought stress in *Platcladus orientalis* container seedlings. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 97, p. 9155-9164, 2013.-.

MASCIARELLI, O; URBANI, L.; REINOSO, H.; LUNA, V. Alternative mechanism for the evaluation of indole-3-acetic acid (IAA) production by *Azospirillum brasilense* strains and its effects on the germination and growth of maize seedlings. **Journal Microbioly**, v. 51, p. 590–597, 2013.

MATOS, F.S. et al. Estratégia morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**, Cruz das Almas, v.26, n.1, p.19-27, 2014.

MENGUAL, C; ROLDÁN, A.; CARAVACA, F; SCHOEBITZ, M. Advantages of inoculation with immobilized rhizobacteria versus amendment with olive-mill waste in the afforestation of a semiarid área with *Pinus halepensis* Mill. **Ecological Engineering**, v 73, p. 1-8, 2014.

MIRANDA, L. Rizobactérias Promotoras de Crescimento na Produção de Mudas Clonais de *Pinus taeda*. **Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)** – Universidade Estadual do Centro – Oeste. Irati – PR, p. 13. 2015.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa N° 6, de 23 de Setembro de 2008, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas (Ministério do Meio Ambiente Instrução Normativa N° 6, 23 de Setembro de 2008). [acessado em 10 de março de 2018]

NASCENTE A.S; DE FILIPPI, M.C. C; LANNA, A. C. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. **Environmental Sciense Pollutione Research**, v. 24, p. 2956–2965, 2016.

OLIVEIRA, M.D.; LIMA, A.L.A.; DINIZ, B.N.; SANTOS, S.R.E.C.; SILVA, F.L.S.; SIMÕES, N.A. Inoculation of plant-growth-promoting rhizobacteria in *Myracrodruon*

*urundeuva* Allemão supports in tolerance to drought stress. **Journal of Plant Interactions**, v. 13, p. 1-99, 2018.

ORESCA, D. Adubação nitrogenada como atenuador dos efeitos da salinidade da água de irrigação utilizada para produção de forragem no semiárido. **Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal)** – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada – Serra Talhada – PE, p. 20-21, 2018.

PAREYN, F.G.C.; ARAÚJO, E.L.; DRUMMOND, M.A.; MIRANDA, M.J.A.C.; SOUZA, C.A.; SILVA, A.P.S.; BRAZOLIN, S.; MARQUES, K.K.M. *Myracrodruon urundeuva*: Aroeira. In: CORADIN, L; CAMILL, J.; PAREYN, F. G. C (Ed). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Nordeste**. Brasília, DF: MMA, 2018.

PEREZ-HARGUINDEGUY, N. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 61, n. 3, p. 167-234, 2013.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Rio de Janeiro: Educar, 2004.

RINCÓN, A.; VALLADARES, F.; GIMENO, T.E.; PUEYO, J.J. Water stress responses of two Mediterranean tree species influenced by native soil microorganisms and inoculation with a plant growth promoting rhizobacterium. **Tree Physiology**, v. 28, p. 1693-1701, 2008.

RUBIN, R.L; GROENIGEN, K.J.V; HUNGATE, B.A. Plant growth promoting rhizobacteria are more effective under drought: a meta-analysis. **Plant Soil**, v. 416, p. 309-323, 2017.

SANTOS M.G., RIBEIRO R.V., OLIVEIRA R.F., MACHADO E.C., PIMENTEL C.; The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. **Plant Sciences**, v. 170, p. 659–664, 2006.

SANTOS, E.M. et al. **Parque Estadual Mata da Pimenteira: riqueza natural e conservação da Caatinga**. 1ª ed. Recife, UFRPE, 2013.



SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SANTOS, J.C.N.; ANDRADE, E.M.; MEDEIROS, P.H. A.; GUERREIRO, M.J.S.; PALÁCIO, H.A. Q. Effect of Rainfall Characteristics on Runoff and Water Erosion for Different Land Uses in a Tropical Semiarid Region. **Water Resources Management**, v. 31, p. 173-185, 2017.

SANTOS, J.C.N.; GUERREIRO, M.J.S.; MEDEIROS, P.H.A.; QUEIROZ P.H.A.; ARAÚJO NETO, J.R. Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semiarid micro watershed under land use change. **Journal of Hydrology**, v. 541, p. 1057-1066, 2016.

SCALON, S.P.Q; MUSSURY, R.M; EUZÉBIO, V.L.M; KODAMA, F.M; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21; p. 655-662, 2011.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T; BRADSTREET, E. D; HEMMINGTON, E. A. Sap pressure in vascular plants. **Science**, v. 148, p. 339–346, 1965.

SHANAHAN, J.F.; EDWARDS, I.B.; QUICK, J.S.; FENWICK, J.R. Membrane thermostability and heat tolerance of spring wheat. **Crop Science Abstract**. v, 30, p. 247-251, 1990.

SLAVICK, B. **Methods of studying plant water relations**. New York: Springer Verlag, 1979. p.449.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress, **Field Crops Research**, v. 98, n. 2, p. 91-97, 2006.

SUN, J.; GU, J.; ZENG, J.; HAN, S.; SONG, A.; CHEN, F.; FANG, W.; JIANG, J.; CHEN, S. Changes in leaf morphology, antioxidant activity and photosynthesis capacity in two different drought-tolerant cultivars of chrysanthemum during and after water stress. **Scientia Horticulturae**, v. 161, p. 249–258, 2013.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2017, p 888.

TELLES, F.F.F.; BARBOSA, F.F.; PINHEIRO, P.A.P.A simple technique for industrial analysis of total chlorophyll. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 24, p. 338-340, 1977.

TIWARI, S; LATA C; CHAUHAN, P. S; NAUTIYAL, C. S. Pseudomonas putida attunes morphophysiological, biochemical and molecular responses in Cicer arietinum L. during drought stress and recovery. **Plant Physiol Biochem**, v 99, p 108–117, 2016.

VAIN P; WORLAND B, THOLE V, MCKENZIE N, ALVES SC, OPANOWICZ M, Fish LJ, BEVAN MW, Snape JW. 2008. Agrobacterium-mediated transformation of the temperate grass *Brachypodium distachyon* (genotype Bd21) for T-DNA insertional mutagenesis. **Plant Biotechnology Journal**, v. 6, p. 236–245, 2008.

VURUKONDA, S.S.K.P., VARDHARAJULA, S., SHRIVASTAVA, M., SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological**, v. 184, p.13–24, 2016

WANG, D.; GARTUNG, J. Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v.97, p.1.787-1.794, 2010.

## **CAPÍTULO 2 – PLANTULAS DE *Myracrodruon urundeuva* INOCULADAS COM *Azospirillum lipoferum* EXIBEM RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS DISTINTAS EM RELAÇÃO À DISPONIBILIDADE DE LUZ**

### **RESUMO**

Plantas de ambientes áridos e semiáridos estão frequentemente expostas a diferentes tipos de estresses abióticos que podem afetar o seu estabelecimento. Estudos apontam que rizobactérias favorecem o desenvolvimento de plantas submetidas a estresses ambientais, entretanto, poucos são os trabalhos com plantas nativas de ambientes áridos e semiáridos. O presente trabalho avaliou os efeitos da inoculação de *Azospirillum lipoferum* nas respostas fotossintéticas influenciadas pelo incremento de luz em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) submetidas a déficit hídrico. O experimento foi conduzido em um viveiro da Universidade Federal Rural de Pernambuco da Unidade Acadêmica de Serra Talhada. As sementes foram 50% inoculadas com *A. lipoferum* e 50% não receberam tratamento de inoculação (considerado o tratamento controle). Para a reposição de água utilizou-se a Evapotranspiração de Referência (ET<sub>0</sub>), aplicando-se os tratamentos controle (100% da ET<sub>0</sub>) e déficit hídrico severo (25% da ET<sub>0</sub>). Foram realizadas avaliações de trocas gasosas em resposta a indução de diferentes índices de luminosidade e indução da fluorescência da clorofila *a*. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2 (com e sem inóculo x níveis de irrigação de 100% e 25% da ET<sub>0</sub>) com 15 repetições. Os maiores índices de fotossíntese, condutância estomática e transpiração apresentaram os maiores resultados para as plântulas inoculadas sob efeito de déficit hídrico severo (25% da ET<sub>0</sub>). A maior eficiência do uso da água foi apresentada pelas plântulas inoculadas do tratamento controle, enquanto que a eficiência intrínseca do uso da água foi melhor nas plântulas inoculadas submetidas a déficit hídrico severo. A fluorescência máxima da clorofila das plântulas inoculadas do tratamento controle apresentaram médias 6% superiores às plântulas sem inóculo. Para o coeficiente de dissipação fotoquímica as plântulas inoculadas e sob déficit hídrico de 25% apresentaram maiores médias que as plântulas sem inóculo. A inoculação da rizobactéria aumentou a eficiência fotossintética das plântulas *de M. urundeuva* submetidas a estresse hídrico, apresentando um melhor desempenho fotossintético mesmo em condições de alta luminosidade.

**Palavras chaves:** estresse abiótico, fotossíntese, luminosidade, rizobactéria, RPCP.

## ABSTRACT

Plants from arid and semi-arid environments are often exposed to different types of abiotic stresses that may affect their establishment. Studies indicate that rhizobacteria favor the development of plants submitted to environmental stresses, however, few are the works with native plants of arid and semiarid environments. The present work evaluated the effects of the inoculation of *Azospirillum lipoferum* on the photosynthetic responses influenced by the increase of light in *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) seedlings submitted to water deficit. The experiment was conducted in a nursery of the Federal Rural University of Pernambuco of the Academic Unit of Serra Talhada. The seeds were 50% inoculated with *A. lipoferum* and 50% did not receive inoculation treatment (considered the control treatment). For the replacement of water, the Reference Evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) was used, applying the control treatments (100% ET<sub>0</sub>) and severe water deficit (25% ET<sub>0</sub>). Gaseous exchange evaluations were performed in response to the induction of different indices of luminosity and induction of chlorophyll a fluorescence. The experiment was conducted in a completely randomized design in a 2 x 2 factorial scheme (with and without inoculum x 100% irrigation levels and 25% ET<sub>0</sub>) with 15 replicates. The highest indexes of photosynthesis, stomatal conductance and transpiration presented the highest results for seedlings inoculated under severe water deficit (25% of ET<sub>0</sub>). The higher efficiency of water use was presented by the inoculated seedlings of the control treatment, while the intrinsic efficiency of water use was better in inoculated seedlings submitted to severe water deficit. The maximum chlorophyll fluorescence of the seedlings inoculated from the control treatment presented a mean 6% higher than the seedlings without inoculum. For the photochemical dissipation coefficient, seedlings inoculated and under water deficit of 25% presented higher mean values than seedlings without inoculum. The inoculation of rhizobacteria increased the photosynthetic efficiency of *M. urundeuva* seedlings submitted to water stress, presenting better photosynthetic performance even under high light conditions.

**Keywords:** abiotic stress, photosynthesis, luminosity, rhizobacteria, RPCP.

## 1 INTRODUÇÃO

As florestas de ambientes áridos e semiáridos representam 40% das florestas tropicais do mundo, as quais vem sofrendo forte alterações em decorrência de atividades antrópicas (BEUCHLE et al., 2015). Naturalmente estes ambientes apresentam altos índices de estresse hídrico e incidência luminosa (SUZUKI et al., 2014). Elevadas intensidades de radiação solar, quando absorvidas podem acarretar em saturação luminosa, diminuindo a eficiência do uso da radiação por parte das plantas (JIANG et al., 2004). Com isso ocorrem variações das trocas gasosas que também são influenciadas pela disponibilidade hídrica para as plantas (PINZÓN-TORRES, SHIAVINATO, 2008). O uso de microrganismos favorece um melhor desempenho da eficiência do uso da água e melhor controle estomático (SWARTHOUT et al., 2009), entretanto poucos são os trabalhos desta natureza com plantas nativas de ambientes semiáridos.

Estresses abióticos afetam a assimilação de CO<sub>2</sub> em decorrência das limitações fisiológicas e bioquímicas (ADAMS et al., 2013). Contudo o desempenho fotossintético em plantas sob condições ambientais adversas é dependente da espécie vegetal, que apresentam mecanismos adaptativos para responder as condições estressantes específicas (COUSINS et al., 2014). Para alcançar a fotossíntese potencial ou máxima, as plantas desenvolvem vários processos inter-relacionados, de modo que ocorra um equilíbrio entre a fase fotoquímica e as reações do ciclo de Calvin (GOH et al., 2012). A luz é a fonte primária de energia relacionada à fotossíntese, e em conjunto com a disponibilidade de CO<sub>2</sub> influenciam os fatores de desenvolvimento, crescimento e produção dos vegetais (PEREIRA, 2011). A luminosidade apresenta grande importância sobre a condutância estomática, sendo um dos principais fatores que regulam o processo fotossintético nas plantas (AASAMAA e SOBER, 2011), pode atuar diretamente no ajuste dos aparatos fotossintéticos quanto à forma de absorção, transmissão e uso da energia disponível (GONÇALVES et al., 2010). A produção de biomassa vegetal varia conforme a absorção da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) pelas folhas e da eficiência da planta em transformar a radiação solar em energia química por meio do processo fotossintético. A quantidade de DFFF absorvida depende da eficiência da interceptação de radiação pelo dossel, e este depende da morfologia e fisiologia da planta.

Vários estudos realizados com microrganismos apontam que a sua utilização ajuda as espécies vegetais a lidar com estresses abióticos (RUBIN; GROENIGEN; HUNGATE, 2017). Entre esses microrganismos destacam-se as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP's), que atuam na reciclagem de nutrientes (GLICK, 2012), favorecendo o

desenvolvimento de plantas em condições estressantes (CHEVARIYA; DESAI, 2014), minimizando os efeitos negativos por diversos tipos de estresse ambiental (KUMAR et al., 2011). Entretanto, a maioria dos trabalhos publicados com as RPCP's são da área agrícola, entre estes os trabalhos com *Zea mays* (milho) (GARCIA et al., 2017), *Triticum* (trigo) (HOSSEINI et al., 2017), *Glycine max* (soja) (KANG et al., 2014), *Solanum lycopersicum* (tomate) (CALVO-POLANCO et al., 2016). Oliveira et al. (2018) avaliou a influência da inoculação da rizobactéria *Azospirillum lipoferum*, no crescimento e em respostas físico-químicas em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* sob efeitos de estresse hídrico. No referido trabalho verificou-se que a rizobactéria conferiu àquela espécie um aumento do sistema radicular, de biomassa, teor de proteínas solúveis e menores danos de membrana e queda foliar. Desta forma, precisa-se entender como o sistema fotossintético e a fluorescência da clorofila das plantas inoculadas respondem ao estímulo de luz.

A melhoria do aparato fotossintético das espécies vegetais proporcionado pela RPCP's pode ser avaliada pelos principais parâmetros de fluorescência, como fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima ( $F_M$ ), eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II ( $F_v/F_M$ ), atividade potencial do fotossistema II ( $F_v/F_o$ ), coeficientes de dissipação fotoquímica ( $qP$ ) e não fotoquímica ( $qN$ ) (BAKER, 2008). Estudos evidenciam que altas taxas de radiação afetam o crescimento das plantas, e que a luz solar em excesso pode ser prejudicial à fotossíntese, uma vez que a eficiência do processo fotossintético pode ser reduzida quando as plantas são expostas a altos níveis de luz, de modo particular sob condições ambientais adversas (BRANT et al., 2010). Oliveira et al. (2019) estudando os efeitos da inoculação de *A. lipoferum* em plântulas de *M. urundeuva* submetidas a déficit hídrico, verificaram que plântulas inoculadas apresentaram níveis mais elevados de condutância estomática, fotossíntese e transpiração, mesmo submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico.

A Caatinga, vegetação típica do semiárido brasileiro, que é caracterizada por apresentar temperaturas elevadas e altos índices de incidência luminosa, apresenta várias espécies com potencial para o desenvolvimento de estudos sobre a inoculação de rizobactérias em plantas nativas. Entre estas destaca-se a *M. urundeuva*, a qual já se tem conhecimento sobre suas respostas a inoculação de rizobactéria em ambiente controlado sob condições de déficit hídrico, conforme Oliveira et al. (2018), entretanto, os efeitos da luz em excesso nas plantas em ambiente viveiro ainda são desconhecidos. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar as respostas do aparato fotossintético, por meio de indução de curva de luminosidade e avaliação da fluorescência da clorofila em plântula de *Myracrodruon*

*urundeuva* inoculadas com a rizobactéria *Azospirillum lipoferum*, submetidas a estresse hídrico.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de Estudo**

O experimento foi conduzido em um viveiro na Unidade Acadêmica de Serra Talhada da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE), entre os meses de janeiro a junho de 2018. De conforme o com de Köppen e Geiger (1995), Serra Talhada apresenta clima é do tipo BSw h' semiárido, quente e seco, no qual as ocorrências de chuvas entre concentram-se entre os meses de dezembro a maio, com uma média anual de aproximadamente 653 mm/ano (SANTOS, 2013). O viveiro em que o experimento apresentava laterais e cobertura constituídas por sombrite à 70%, e sob a cobertura foi colocado um plástico do tipo policloreto de vinila (PVC) transparente, com o objetivo de evitar entrada de água da chuva. As condições ambientais do período do experimento foram monitoradas por uma estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET ([www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)) situada a aproximadamente 270 m de distância do local do experimento. No interior do viveiro a temperatura e umidade do ar foram acompanhadas por meio de um termohigrômetro (OMEGA EL-USB-2) que realizava os registros intervalos de uma em uma hora, ao longo do dia. A interceptação luminosa foi aferida por meio de um ceptômetro (AccuPAR, LP-80, Decagon Devices Inc., Pulman, USA), e realizadas na altura das plântulas em cinco plântulas de cada tratamentos, no intervalo de horários compreendido entre as 11:00 e 13:00 horas.

### **2.2 Preparo de Sementes e do Substrato:**

As sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae) foram coletadas no Parque Estadual Mata da Pimenteira, situado no município de Serra Talhada-PE. Utilizou-se 120 sementes, que passaram por uma pré-limpeza manual para retirada de componentes do fruto, em seguida foram sanitizadas em laboratório, por meio de imersão em álcool etílico a 70% por 30 segundos e hipoclorito de sódio a 1,3% por quatro minutos, finalizando com três lavagens com água destilada (DANTAS, et al., 2014; VAIN et al., 2008).

O solo utilizado foi coletado de uma área próxima ao experimento, a um perfil de profundidade variando entre zero a 20 cm, este solo foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico (solo com argila de alta atividade e de alta fertilidade) Típico (SANTOS et al., 2013). Para informações relacionadas a análise física e química do solo consultar Oresca et al. (2018).

### **2.3 Preparo e Inoculação da *Azospirillum lipoferum* (BR-11080)**

O preparo do inoculante se deu por meio uma amostra da *Azospirillum lipoferum* (BR-11080), repicada e crescida em meio caldo nutriente (2,5 g de cloreto de sódio e 0,75 g de extrato de carne), em um erlenmeyer de 500 ml, agitado por 48 horas (agitador magnético – GL – 3250A) a temperatura ambiente. Com o crescimento bacteriano, a suspensão foi centrifugada à 9.000 rpm por 3 minutos, após o processo o sobrenadante foi descartado. Adicionou-se 4 mL de água destilada e esterilizada para ressuspensão do precipitado realizando a leitura de densidade ótica (DO) das soluções em espectrofotômetro (Biochrom Libra S70), ajustando as leituras com a adição de água destilada e esterilizada até atingir densidade ótica (DO) de aproximadamente 1,0 à 535 nm, indicando com isto a presença de 10<sup>8</sup> Unidades Formadoras de Colônia (UFC) mL<sup>-1</sup> de solução (KUSS *et al.*, 2007).

A inoculação realizou-se por meio do contato das sementes com a suspensão da *A. lipoferum* em placas de Petri por um período de durante duas horas. As sementes do tratamento controle permaneceram pelo mesmo período de tempo em contato com água destilada e esterilizado.

### **2.4 Semeadura e Crescimento das Plântulas**

Foram utilizadas bandejas de germinação compostas por 30 células, que foram preenchidas com substrato (solo), sendo irrigadas antes da semeadura. Foram semeadas 60 sementes de *M. urundeuva* inoculadas com *A. lipoferum* e 60 sementes sem inoculação (tratamento controle). Após três da germinação as plântulas foram transplantadas de 3,8 L de capacidade. As plântulas passaram por um período adaptativo de 30 dias sendo irrigadas à 100% da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>). Após este período foram submetidas ao tratamento de déficit hídrico, com base na ET<sub>0</sub> de 100% (controle), 50% (moderado) e 25% (severo) respectivamente.



## 2.5 Curvas de Saturação Luminosa

Para a determinação da eficiência do uso da luz em plântulas de *M. urundeuva* foram realizadas curvas de luz para as variáveis de trocas gasosas, em viveiro, após 75 dias exposição aos tratamentos de déficit hídrico. Para isso utilizou-se três plântulas por tratamento (três plântulas por tratamento de inoculação e de déficit hídrico (100% da ET0 e 25% da ET0), sendo as medidas realizadas na terceira folha, a partir do ápice, totalmente expandida e em perfeito estado fitossanitário. Utilizou-se para esta avaliação um sistema portátil de fotossíntese (IRGA, modelo LI 6400XT, LI-COR, EUA) acoplado com um fluorômetro. A fotossíntese ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ), eficiência instantânea do uso da água ( $EUA$ ) e eficiência intrínseca do uso da água ( $EIA$ ) foram mensurados em resposta ao incremento da intensidade luminosa (0, 50, 100, 200, 300, 400, 800, 1200, 1600 e 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) na câmara de leitura do IRGA e com concentração de CO<sub>2</sub> de 400  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ . As mensurações foram realizadas no intervalo das 9:00 às 11:00 da manhã.

## 2.6 Fluorescência da Clorofila

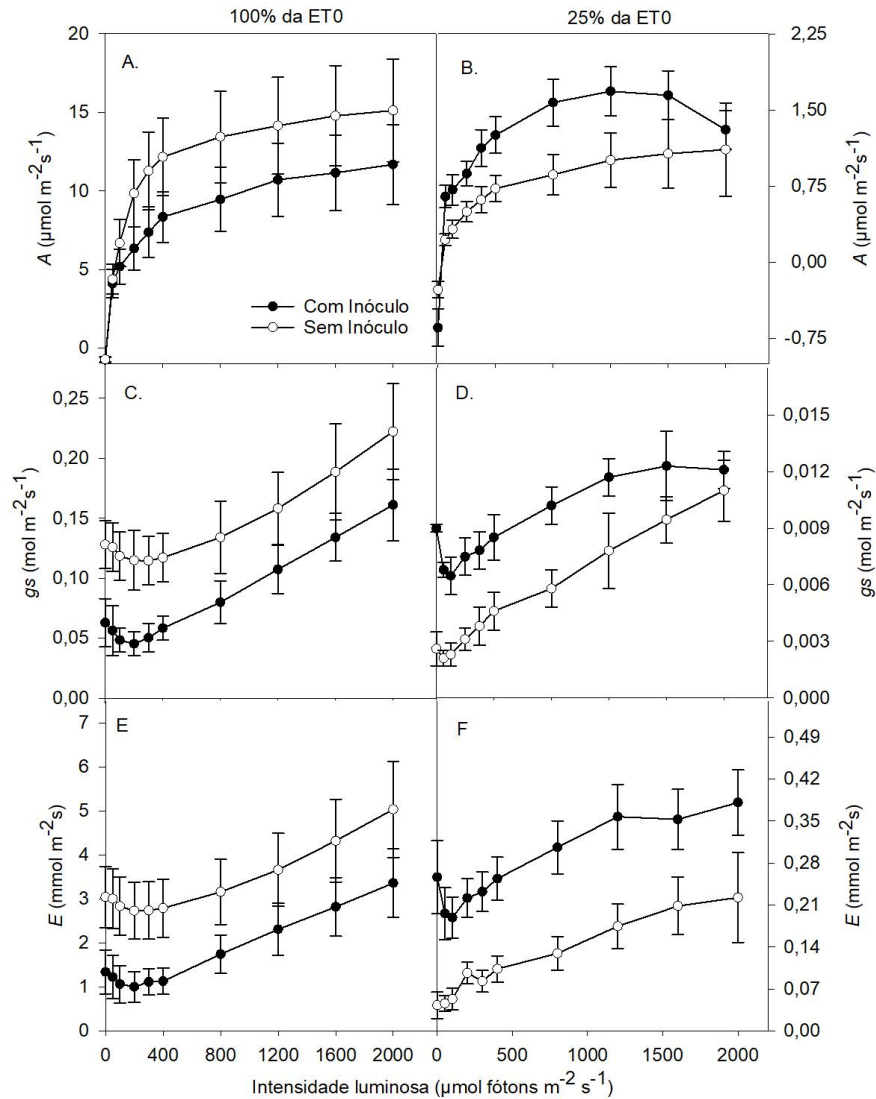
As medidas de fluorescência foram realizadas por meio do método de pulso de saturação (SCHREIBER et al., 1994) em folhas de três plântulas por tratamento (inoculação e déficit hídrico). Para esta análise utilizou-se o sistema portátil de fotossíntese (IRGA, modelo LI-6400XT, LI-COR, EUA) acoplado com um fluorômetro. Foram escolhidas folhas expostas a condições de luz e adaptadas ao escuro durante 30 minutos. A intensidade do pulso de luz de saturação foi de 8000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  com duração de 0,7 segundos. Foram avaliados os seguintes parâmetros: fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_M$ ), atividade potencial do fotossistema II ( $F_v/F_0$ ), eficiência fotoquímica efetiva do fotossistema II ( $F_v'/F_M'$ ), coeficiente de extensão fotoquímica (qP) e coeficiente de extensão não fotoquímico (qN).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Curvas de Saturação Luminosa

A intensidade luminosa atingiu seu ponto de saturação para a fotossíntese próximo a  $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para o tratamento controle de déficit hídrico, enquanto que para o de déficit hídrico severo o ponto de saturação foi próximo a  $1200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , independente do tratamento de inoculação (Figura 1-A e B). As taxas de fotossíntese para o tratamento controle, foram maiores para as plântulas não inoculadas (Figura 1-A), enquanto que para o tratamento severo de déficit hídrico o comportamento foi inverso, com taxas fotossintéticas bem elevadas, atingindo valores de 40,37% acima das plântulas sem inóculo.

A inoculação manteve as plântulas com os estômatos abertos em condições de déficit hídrico severo, observando-se um aumento de 45% em relação as plântulas sem inóculo (Figura 1-D). Conseqüentemente, aumentaram as taxas de fotossíntese (28%) e transpiração (59%) (Figura 1-B, F). Para o tratamento controle de inoculação observou-se comportamento inverso, as plântulas sem inóculo se sobressaíram a essas variáveis (Figura 1- A, C, E).

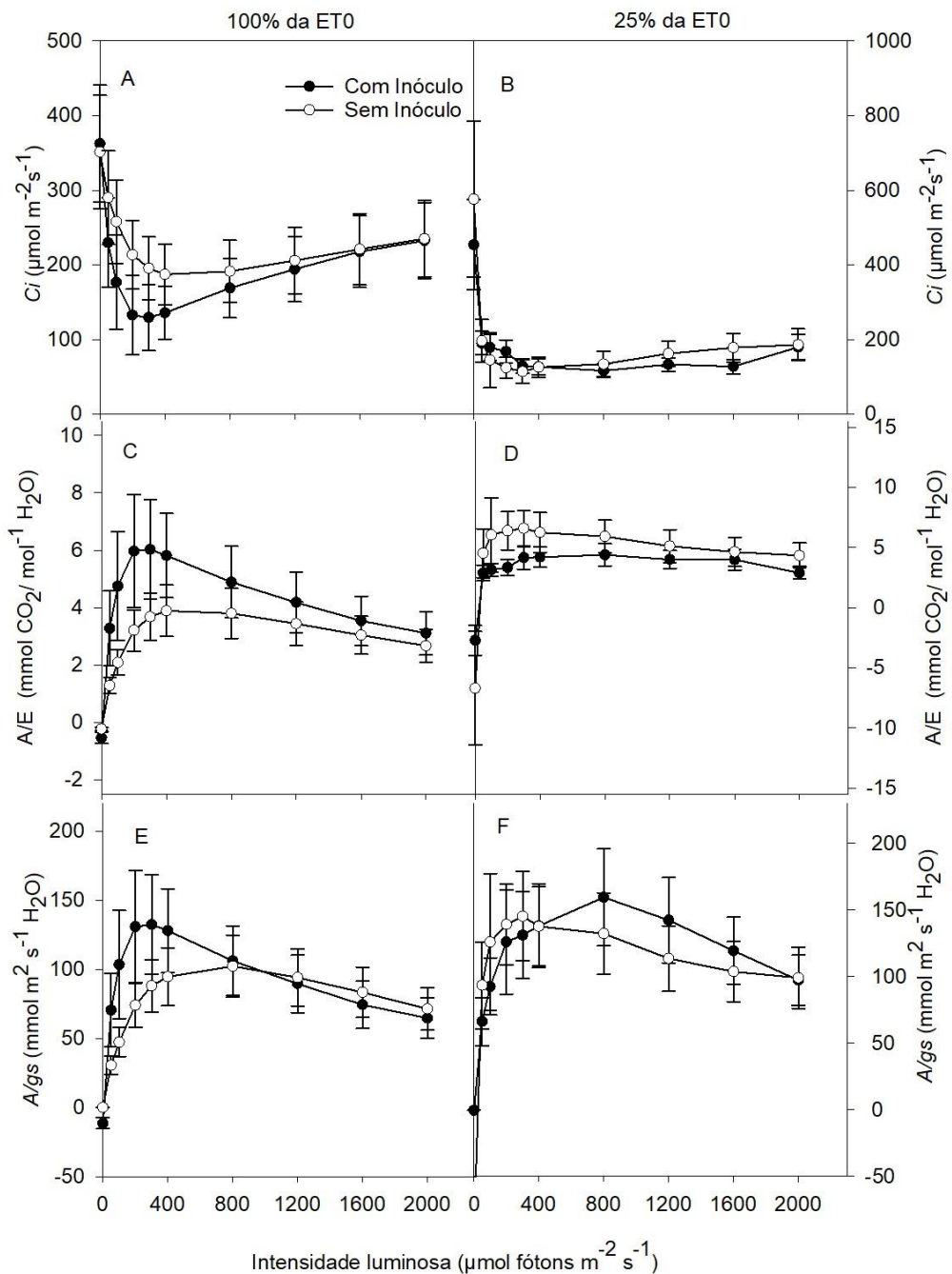


**Figura 1.** Curva de indu\u00e7\u00e3o de fotoss\u00edntese (A-B), condut\u00e2ncia estom\u00e1tica (C-D) e transpira\u00e7\u00e3o (E-F) por satura\u00e7\u00e3o luminosa em pl\u00e2ntulas de *Myracrodruon urundeuva* Allem\u00e3o, com e sem in\u00f3culo de *Azospirillum lipoferum*, submetida a tratamento controle (100% da ET0) (A-C-E) e de d\u00e9ficit severo (25% da ET0) (B-D-F).

A curva de concentra\u00e7\u00e3o interna de  $\text{CO}_2$  apresentou as maiores concentra\u00e7\u00f5es no in\u00edcio da aplica\u00e7\u00e3o das intensidades luminosas (Figura 2 A-B). A partir da intensidade luminosa de  $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  os valores da concentra\u00e7\u00e3o interna de  $\text{CO}_2$  deca\u00edram permanecendo as curvas do tratamento com e sem in\u00f3culo semelhantes (Figura 2 A-B). Observou-se que a concentra\u00e7\u00e3o interna de  $\text{CO}_2$  apresentou um melhor desempenho quando a intensidade luminosa atingiu  $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , atingindo o pico de satura\u00e7\u00e3o com  $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , no qual as curvas com e sem in\u00f3culo se igualam. Contudo, observa-se que para o tratamento

severo de déficit hídrico a saturação ocorreu mais rápido do que para o tratamento controle (Figura 2- B).

Nos tratamentos controle e de déficit hídrico severo as maiores médias de eficiência da água foram registradas para o tratamento com inóculo a uma densidade de fótons de  $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , enquanto que para o tratamento sem inóculo foi a  $400 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Figura 2 C-D). Entretanto, as plântulas inoculadas do tratamento controle de déficit hídrico apresentaram maiores médias (33%) que as plântulas sem inóculo. Para o tratamento de déficit hídrico as plântulas sem inóculo apresentaram melhor desempenho (47% superior) do que as plântulas inoculadas. A eficiência intrínseca do uso da água para as plântulas com e sem inóculo do tratamento de severo de déficit hídrico apresentaram elevação de acordo com a intensidade luminosa, atingindo o seu pico máximo quando a intensidade luminosa alcançou  $800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (Figura 2 E-F). Após esta intensidade luminosa ocorreu um declínio até os tratamentos com e sem inóculo igualarem-se. Para o tratamento controle de déficit hídrico também houve um pico da eficiência intrínseca do uso da água aos  $800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , enquanto acima deste valor conforme aumentou-se a intensidade luminosa diminuiu a eficiência intrínseca do uso da água, sendo que para este tratamento as plântulas com inóculo apresentaram as maiores médias.

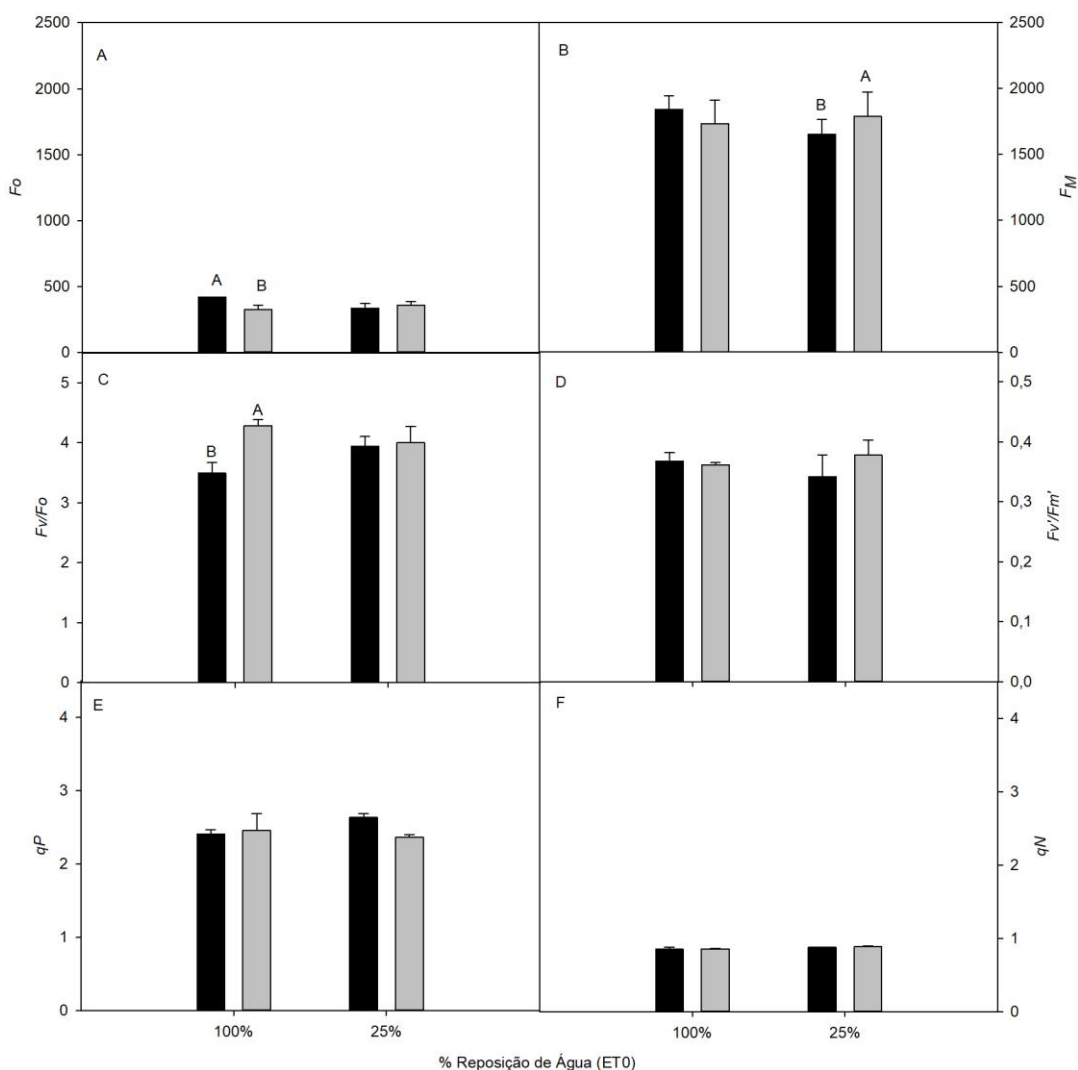


**Figura 2.** Curva de concentra\u00e7\u00e3o interna de  $\text{CO}_2$  (A-B), efici\u00eancia instant\u00e2nea do uso da \u00e1gua (C-D) e efici\u00eancia intr\u00ednseca do uso da \u00e1gua (E-F) por satura\u00e7\u00e3o luminosa em pl\u00e2ntulas de *Myracrodruon urundeuva* Allem\u00e3o, com e sem in\u00f3culo de *Azospirillum lipoferum*, submetida a tratamento controle (100% da ET0) (A-C-E) e de d\u00e9ficit h\u00eddrico severo (25% da ET0) (B-D-F).

### 3.2 Fluorescência da Clorofila

A inoculação da *A. lipoferum* conferiu as plântulas de *M. urundeuva* do tratamento controle de déficit hídrico um aumento de 15% da fluorescência inicial ( $F_o$ ) em relação às plântulas sem inóculo (Figura 3-A). No entanto, esta mesma variável para o tratamento de déficit hídrico severo as plântulas sem inóculo se sobressaíram em 7%, conforme figura 3-A. Comportamento semelhante ocorreu para a variável da fluorescência máxima ( $F_M$ ), observando-se que para as plântulas controle do tratamento de déficit hídrico e submetidas a inoculação apresentaram médias 6% superior às plântulas sem inóculo (Figura 3-B). Para o tratamento de déficit hídrico severo o comportamento foi inverso, as plântulas sem inóculo apresentaram médias 8% maiores do que as plântulas inoculadas (Figura 3-B).

Para a variável de atividade potencial do fotossistema II ( $F_v/F_o$ ) houve diferença significativa entre os tratamentos com e sem inóculo, no qual o tratamento controle de déficit hídrico e sem inoculação da *A. lipoferum* apresentou média 18,5% superior às plântulas com inóculo (Figura 4-A). Não houve diferença entre os tratamentos severo de déficit hídrico e de inoculação (Figura 4-A). Para a eficiência fotoquímica efetiva do fotossistema II ( $F_v'/F_M$ ) o tratamento severo de déficit hídrico e sem inóculo apresentou um aumento de 10% em relação às plântulas inoculadas (Figura 4-B). Comportamento inverso apresentou-se para a variável de coeficiente de extensão fotoquímica ( $qP$ ), o qual as plântulas com inóculo do tratamento severo de déficit hídrico foi 10% superior em relação as plântulas sem inóculo (Figura 5-A). Para o coeficiente de extensão não fotoquímica ( $qN$ ) não houve diferença entre os tratamentos.



**Figura 3.** Fluorescência inicial ( $F_o$ ) (A), Fluorescência máxima ( $F_M$ ) (B), Atividade potencial do fotossistema II ( $F_v/F_o$ ) (C) e eficiência fotoquímica efetiva do fotossistema II ( $F_v'/F_m'$ ) (D), Coeficiente de extensão fotoquímica ( $qP$ ) (E) e coeficiente de extensão não fotoquímica ( $qN$ ) (F), em plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão, com e sem inóculo de *Azospirillum lipoferum*, submetida a tratamento controle (100% da ET0) e de déficit hídrico severo (25% da ET0).

#### 4 DISCUSSÃO

Quando expostas a estresses abióticos, como estresse hídrico e altas intensidades luminosas, as plantas desenvolvem estratégias para manter taxas de fotossíntese adequada em resposta ao estresse submetido (LIU e HUANG, 2008; GONZALEZ-CRUZ e PASTENES, 2012). Para chegar a uma fotossíntese máxima, é necessário que as plantas alcancem um

equilíbrio próximo entre a atividade fotoquímica e as reações do ciclo C3 ou ciclo de Calvin (DODD et al., 2010). No presente estudo, a inoculação manteve os estômatos abertos em plântulas sob déficit hídrico (Figura 1- D). Isso elevou a fotossíntese bem como a transpiração (Figura 1- B, F). Os fotoassimilados resultados desse processo podem servir de matéria prima para síntese de compostos antagônicos ao ácido abscísico, mantendo assim os estômatos abertos. Para as plântulas inoculadas e submetidas ao estresse hídrico severo, a produção fotossintética foi 40,37% maior em relação às plântulas não inoculadas (Figura 1 A-B). Relacionada diretamente com a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração das plântulas inoculadas submetidas a estresse hídrico severo também apresentaram valores mais altos quando comparadas às plântulas não inoculadas (Figura 1- C, D, E, F). Esses dados sugerem que a inoculação da *A. lipoferum* confere as plântulas uma maior eficiência do seu sistema fotossintético, mesmo sob condições de estresse abiótico como restrição hídrica e altas intensidades luminosas. Estudos realizados com diferentes intensidades luminosas incidentes em plantas de amendoim (planta C<sub>3</sub>), foram observadas elevadas taxas de fotossíntese, entretanto com limitação estomática em torno de 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (ERISMANN; MACHADO; DE GODOY, 2006).

As trocas gasosas indicam a eficiência na regulação da abertura estomática que está diretamente relacionada com a assimilação de CO<sub>2</sub> (NASCENTE et al., 2016). Elevadas taxas de fixação de CO<sub>2</sub> pela Rubisco demandam alto consumo de energia química, a qual é gerada na fase fotoquímica da fotossíntese, através da captação, absorção e transferência de energia pelas moléculas de clorofilas (ZHANG et al., 2017). As maiores taxas de CO<sub>2</sub> intercelular foram observadas em incidências luminosas baixas sendo maior na ausência de luz (Figura 2), em todas as plântulas, independente dos tratamentos de inoculação. As plântulas inoculadas e do tratamento controle de déficit hídrico apresentaram maiores médias que as plântulas sem inóculo para a curva de intensidade luminosa para a variável de eficiência instantânea do uso da água (Figura 2-C), indicando que possivelmente a rizobactéria tenha gerado estímulos nas plântulas, como a produção de hormônios que favoreceram um melhor desempenho desta variável submetidas a alta intensidade luminosa. A eficiência intrínseca do uso da água para as plântulas sob efeitos de inoculação e estresse hídrico severo se sobressaíram em relação as plântulas sem inóculo (Figura 2 C-D, E-F). As RPCP's estimulam alterações coordenadas na transpiração, conteúdo de ácido abscísico (ABA) e fotossíntese, contribuindo assim com uma maior eficiência do uso da água em plantas submetidas ao déficit hídrico (BRESSON et al., 2013).



A fluorescência inicial ou mínima ( $F_o$ ) indica a emissão de luz pelas moléculas de clorofilas excitadas, antes da energia ser dissipada para o centro de reação do fotossistema II. Esta variável pode aumentar o seu valor quando os centros de reações são prejudicados por estresses ambientais, entre eles o estresse hídrico (CAMPOSTRINI, 2001). No presente estudo, os maiores valores de  $F_o$  encontrados para as plântulas inoculadas do tratamento controle de déficit hídrico podem indicar possíveis danos ao centro de reação do fotossistema II (Figura 3- A). Entretanto, a inoculação da *A. lipoferum* nas plântulas do tratamento de déficit hídrico severo atenuaram o aumento da  $F_o$ , contribuindo com para um melhor desempenho potencial do fotossistema II (Figura 3-B). Estes resultados evidenciam a atuação da *A. lipoferum* em plântulas sob efeitos de estresse hídrico, favorecendo um melhor desempenho no aparato fotossintético atrelando-se com os resultados apresentados pela curva de fotossintética, na qual as plântulas sob efeitos de estresse e inoculação apresentaram as maiores médias em relação as plântulas sem inóculo. Estudos apontam que a inoculação de rizobactérias estimulam a um maior conteúdo de clorofilas, o que pode resultar em uma maior eficiência na absorção de luz, transferência de energia e de elétrons e maior controle na dissipação do excedente de energia térmica (DODD et al., 2010; KANG et al., 2014). Estes resultados são demonstrados pelos parâmetros de fluorescência da clorofila *a*, como apresentando em plantas de pimenta inoculadas com *Bacillus* spp. (SAMANIEGO-GÃMEZ et al., 2016).

O parâmetro de florescência máxima ( $F_M$ ) indica o nível máximo de luz emitida pelas moléculas de clorofila *a* excitadas. Este processo acontece antes das reações fotoquímicas, sendo que valores elevados podem reduzir o processo fotoquímico (ZHOU et al., 2016), pois o excesso de luz provoca superexcitação das moléculas de clorofila prejudicando os centros de reação do fotossistema II (STREIT et al, 2005). No presente estudo, as plântulas do tratamento controle de estresse hídrico e com inóculo apresentaram médias 6% superior às plântulas sem inóculo, comportamento inverso observou-se para as plântulas do tratamento de estresse hídrico severo, no qual as plântulas sem inóculo apresentaram média 18% superior as plântulas inoculadas (Figura 3-B).

A eficiência fotoquímica efetiva ( $F_v'/F_M'$ ) indica a eficiência de captura de excitação pelos centros de reação abertos do fotossistema II, sendo relacionado com a dissipação da energia térmica no completo antena (SCHREIBER et al, 1994). Para este estudo as plântulas sem inóculo e sob efeitos de estresse hídrico apresentaram os maiores resultados (Figura 4-B), apontando que mesmo sob estresse hídrico as plântulas não apresentaram deficiência na

dissipação de energia térmica no complexo antena. Os resultados apresentados neste trabalho para o coeficiente de extensão fotoquímica ( $qP$ ) apontaram que as plântulas sob efeitos de inoculação e estresse hídrico severo apresentaram médias 10% superior em relação as plântulas sem inóculo, indicando assim que a rizobactéria possivelmente contribuiu para uma melhor captura de energia de excitação para a redução do NADP. Em condições de estresse hídrico a redução do  $qP$  pode indicar danos foto-oxidativos ao centro de reações do fotossistema II (ZHANG et al., 2017). Contudo, é necessário a realização de outros estudos para identificação de metabólitos que favorecem a sinalização de hormônios vegetais que conferem maior tolerância as plântulas inoculadas e sob efeitos de estresses ambientais.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem inferir que plântulas de *Myracrodruon urundeuva* submetida a estresse hídrico e inoculadas com *Azospirillum lipoferum* apresentam melhor eficiência fotossintética associado ao uso eficiente de luz, apresentando melhor desempenho de condutância estomática e de transpiração. Indica ainda uma melhor eficiência fotossintética mesmo sob condições de estresse abiótico.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese testada neste trabalho afirma que a inoculação da rizobactéria *Azospirillum lipoferum* em sementes de *Myracrodruon urundeuva* confere as plântulas melhor tolerância ao estresse hídrico e a altas intensidades luminosas. Os resultados mostram que plântulas com inóculo apresentam um melhor desempenho fotossintético, acarretando em ganhos de biomassa e crescimento. Em relação a variação de luminosidade as plântulas inoculadas e sob estresse hídrico severo apresentaram melhor desempenho de fotossíntese, condutância estomática e transpiração.

Os estresses abióticos atrelados a ações antrópicas comprometem o estabelecimento de plântulas em seu ambiente natural e o uso da inoculação de rizobactérias apresenta-se com uma proposta que favorece este estabelecimento. Assim recomenda-se para trabalhos futuros estudos em campo para se verificar se plântulas sob efeitos de inoculação e implantadas em ambiente natural apresentam resultados satisfatórios, uma vez que estarão sujeitas as condições ambientais não controláveis. Além deste, faz-se necessário também avaliar o estímulo de produção de fitormônios provocados por rizobactérias em plântulas sob estresse hídrico, uma vez que já é conhecido este efeito em plantas cultivadas.

## REFERÊNCIAS

AASAMAA, K.; SÖBER, A. Stomatal sensitivities to changes in leaf water potential, air humidity, CO<sub>2</sub> concentration and light intensity, and the effect of abscisic acid on the sensitivities in six temperate deciduous tree species. **Environmental and Experimental Botany**, v.71, p.72–78, 2011.

ADAMS, W.W.; MULLER, O.; COHU, C.M.; DEMMIG-ADAMS, B. May photoinhibition be a consequence, rather than a cause, of limited plant productivity? **Photosynthesis Research**, v. 117, p. 31-44, 2013.

BAKER, NR. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89–113, 2008.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; SELIGER, R.; EVA, H.D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116-127, 2015.

BRANT, R. S.; PINTO, J. E. B. P.; ROSAL, L. F.; CASTRO, E. M.; OLIVEIRA, C.; ALBUQUERQUE, C. J. B. Características fisiológicas e anatômicas de *Melissa officinalis* cultivadas sob diferentes condições de luminosidade. **Magistra**, v. 22, n. 3,4 p. 146-152, 2010.

BRESSON, J. et al. The PGPR strain *Phyllobacterium brassicacearum* STM196 induces a reproductive delay and physiological changes that result in improved drought tolerance in Arabidopsis. **New Phytologist**, v. 200, n. 2, p. 558–569, 2013.

CALVO-POLANCO, M; SANCHEZ-ROMERA, B; AROCA R; ASINS, M. J; DECLERCK, S; DODD I. C; MARTINEZ-ANDUJAR, C; ALBACETE, A; RUIZ LOZANO, J.M. Exploring the use of recombinant inbred lines in combination with beneficial microbial inoculants (AM fungus and PGPR) to improve drought stress tolerance in tomato. **Environmental Experimental Botany**, v. 131, p. 47–57, 2016.

CAMPOSTRINI, E. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas. **UFNF, Rio de Janeiro**, 2001.

CHEVARIYA, K. K.; DESAI, P. B. Rhizobacteria of sugarcane: in vitro screening for their plant growth promoting potentials. *Research Journal of Recent Sciences* v. 3, p. 52-58, 2014.

COUSINS, A.B.; JOHNSON, M.; LEAKEY, A.D.B. Photosynthesis and the environment. **Photosynthesis Research**, v. 119, p. 1-2, 2014.

DANTAS, B. F.; MATIAS, J. R.; MENDES, R. B.; Ribeiro, R. C. As sementes da Caatinga são...”: Um levantamento das características das sementes da Caatinga. **Informativo Abrates**, v. 24, n. 3, 2014.

DODD, I.C.; ZINOVKINA, N.Y.; SAFRONOVA, V.I.; BELIMOV, A.A. Rhizobacterial 520 mediation of plant hormone status. *Annals of Applied Biology*, v. 157, p. 361–379, 2010.

ERISMANN, N. D. M.; MACHADO, E. C.; DE GODOY, I. J. Capacidade fotossintética de genótipos de amendoim em ambiente natural e controlado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1099–1108, 2006.

GARCIA, J.E; MARONICHE, G; CREUS, C; SUAREZ-RODRIGUEZ, R; RAMIREZ-TRUJILLO, J. A; GROPPA, M.D. In vitro PGPR properties and osmotic tolerance of different *Azospirillum* native strains and their effects on growth of maize under drought stress. **Microbiological Research**, v 202:21–29, 2017.

GLICK, B. R. (2012) Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 1–15, 2012.

GOH, C.H.; KO, S.M.; KOH, S.; KIM, Y.J.; BAE, H.J. Photosynthesis and environments: photoinhibition and repair mechanisms in plants. **Journal of Plant Biology**, v. 55, p. 93–101, 2012.

GONÇALVES, J. F. de C.; SILVA, C. E.; GUIMARÃES D. G.; BERNARDES, R. S., Análise dos Transientes da Fluorescência da Clorofila *a* de Plantas Jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* Submetidas a Dois Ambientes de Luz. **Acta amazônica**, v. 40, p. 89-98, 2010.

GONZALEZ-CRUZ, J.; PASTENES, C. Water-stress induced thermotolerance of photosynthesis in bean (*Phaseolus vulgaris*). **Environmental and Experimental Botany**, v. 77, p. 127-140, 2012

HOSSEINI, F; MOSADDEGHI, M. R; DEXTER, A. R. Effect of the fungus *Piriformospora indica* on physiological characteristics and root morphology of wheat under combined drought and mechanical stresses. **Plant Physiol Biochem**, v. 118, p. 107–120, 2017.

JIANG, A.C.D.; GAOB, H.Y.; ZOUB, Q.; JIANGA, G.M.; LIA, L. H. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, p.1-10, 2004.

KANG, S. M; KHAN, A. L; YOU, Y. H. Gibberellin production by newly isolated strain *Leifsonia soli* SE134 and Its potential to promote plant growth. **Journal of Microbiology and Biotechnolog**, v. 24 p.106–112, 2014.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthus. 1928.  
KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. Water Relations of Plants and Soils. **Academic Press**, p. 1 495, 1995.

KUMAR, A.; PRAKASH, A.; JOHRI, B.N. *Bacillus* as PGPR in crop ecosystem. In: MAHESHWARI, D.K.K. **Bacteria in Agrobiolgy: Crop Systems**. Heidelberg: Springer-Verlag, Cap. 2, p. 37-59, 2011.

KUSS, A.V.; KUSS, V.V.; HOLTZ, E.K.; LOVATO, T. Inoculação de bactérias diazotróficas e Desenvolvimento de plântulas de arroz irrigado em Solução nutritiva e câmara de crescimento. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v. 14, n. 2, p. 23-33, 2007.

LI, G.; WAN, S.; ZHOU, J.; YANG, Z.; QIN, P. Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. **Industrial Crops and Products**, v.31, p.13-19, 2010.

LIU, X.; HUANG, B. 2008. Photosynthetic acclimation to high temperatures associated with heat tolerance in creeping bentgrass. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, p. 1947-1953.

NASCENTE A. S.; DE FILIPPI, M. C. C; LANNA, A. C. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. **Environmental Science Pollution Research**, v. 24, p. 2956–2965, 2016.

OLIVEIRA, M.D.; LIMA, A.L.A.; DINIZ, B.N.; SANTOS, S.R.E.C.; SILVA, F.L.S.; SIMÕES, N.A. Inoculation of plant-growth-promoting rhizobacteria in *Myracrodruon urundeuva* Allemão supports in tolerance to drought stress. **Journal of Plant Interactions**, v. 13, p. 1-99, 2018.

ORESCA, D. Adubação nitrogenada como atenuador dos efeitos da salinidade da água de irrigação utilizada para produção de forragem no semiárido. **Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal)** – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada – Serra Talhada – PE, p. 20-21, 2018.

PEREIRA S. P.; BARTHOLO G. F.; BALIZA D. P.; SOBREIRA F. M.; GUIMARÃES R. J. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa. Agropecuária Brasileira**, v. 46, p.152-160, 2011.

PINZÓN-TORRES, J. A.; SHIAVINATO, M. A. Crescimento, eficiência fotossintética e eficiência do uso da água em quatro espécies de leguminosas arbóreas tropicais. **Hoehnea**, v. 35, n. 3, p. 395–404, 2008.

RUBIN, R. L; GROENIGEN, K. J. V; HUNGATE, B. A. Plant growth promoting rhizobacteria are more effective under drought: a meta-analysis. **Plant Soil**, v. 416, p. 309-323, 2017.

SANTOS, E.M. et al. **Parque Estadual Mata da Pimenteira: riqueza natural e conservação da Caatinga**. 1ª ed. Recife, UFRPE, 2013.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SAMANIEGO-GÁMEZ, B.Y.; GARRUÑA R.; TUN-SUÁREZ. J.M. et al (2016) *Bacillus* spp. inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 76, p. 409–416, 2016.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Schulze, E.D.; Caldwell, M.M., eds. *Ecophysiology of photosynthesis*. **Springer**, p. 49-70, 1994.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W; HECKTHEVER, L. H. The chlorophylls. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

SUZUKI, N; RIVERO, R.M; SHULAEV, V; BLUMWALD, E; MITTLEL, R. Abiotic and biotic stress combinations. **New Phytologist**, v. 203, p. 32-43, 2014.

SWARTHOUT, D.; HARPER, E.; JUDD, S.; GONTHIER, D.; SHYNE, R.; STOWE, T.; BULTMAN, T. Measures of leaf-level water-use efficiency in drought stressed endophyte infected and non-infected tall fescue grasses. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 1, p. 88–93, 2009.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2017, p 888.

TIWARI, S; LATA C; CHAUHAN, P. S; NAUTIYAL, C. S. *Pseudomonas putida* attunes morphophysiological, biochemical and molecular responses in *Cicer arietinum* L. during drought stress and recovery. **Plant Physiol Biochem**, v 99, p 108–117, 2016.



VAIN P; WORLAND B, THOLE V, MCKENZIE N, ALVES SC, OPANOWICZ M, Fish LJ, BEVAN MW, Snape JW. 2008. Agrobacterium-mediated transformation of the temperate grass *Brachypodium distachyon* (genotype Bd21) for T-DNA insertional mutagenesis. **Plant Biotechnology Journal**, v. 6, p. 236–245, 2008.

WANG, S; OUYANG, L; JU, X. Survey of Plant Drought-Resistance Promoting 756 Bacteria from *Populus euphratica* Tree Living in Arid Area. **Indian Journal of Microbiology**, v. 54 p. 419–426, 2014.

ZHANG, K; LIU, Z; SHAN, X. Physiological properties and chlorophyll biosynthesis in a Pak-choi (*Brassica rapa* L. ssp. *chinensis*) yellow leaf mutant, pylm. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 23, p 22:39, 2017.

ZHOU, C; MA, Z; ZHU, L. Rhizobacterial strain *Bacillus megaterium* BOFC15 induces cellular polyamine changes that improve plant growth and drought resistance. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, 2016.