



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA: PRODUÇÃO VEGETAL



JOSÉ DAILSON SILVA DE OLIVEIRA

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS NO CRESCIMENTO INICIAL DE DOIS ACESSOS
DE PINHEIRA (*Annona squamosa* L.) SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO**

RIO LARGO - ALAGOAS

2018

JOSÉ DAILSON SILVA DE OLIVEIRA

**ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS NO CRESCIMENTO INICIAL DE DOIS ACESSOS
DE PINHEIRA (*Annona squamosa* L.) SUBMETIDOS AO ESTRESSE HÍDRICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para a obtenção de título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Eurico Eduardo de Pinto Lemos

RIO LARGO - ALAGOAS

2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecário: Erisson Rodrigues de Santana

O48a Oliveira, José Dailson Silva de

Alterações fisiológicas no crescimento inicial de dois acessos de pinheira (*Annona squamosa* L.) submetido ao estresse hídrico. Rio Largo-AL – 2018.
53 f.; il; 33 cm

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2018.

Orientador(a): Prf. Dr. Eurico Eduardo de Pinto Lemos

1. Pinha 2. Anonáceas 3. resistência à seca. 4. trocas gasosas
5. semiárido I. Título.

CDU: 634.41

TERMO DE APROVAÇÃO

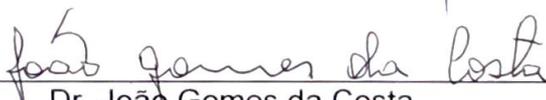
JOSÉ DAILSON SILVA DE OLIVEIRA
(Matrícula 16130082)

**“Alterações fisiológicas no crescimento inicial de dois acessos de pinheira
(*Annona squamosa* L.) submetidos ao estresse hídrico”**

Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em vinte e sete de fevereiro de 2018, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.



Prof. Dr. Eurico Eduardo Pinto de Lemos
Presidente



Dr. João Gomes da Costa
Membro



Dra. Cibele Gallo
Membro

Rio Largo - AL
Fevereiro/2018

Aos meus pais, Geraldo Cândido e Amara Lúcia; aos meus irmãos e toda minha família; à minha namorada, Dayane; que sempre depositaram confiança em mim, apoiando-me em minhas decisões e incentivando-me para que hoje eu pudesse realizar um dos meus sonhos. A eles todo o meu amor e reconhecimento.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por conceder-me o dom da vida e a oportunidade de alcançar tudo o que Ele permite.

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL) em conjunto com o Centro de Ciências Agrárias (CECA), por produzir conhecimento, gerar pensamento crítico, organizando e articulando os saberes, formando cidadãos, profissionais e lideranças intelectuais.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eurico Eduardo de Pinto Lemos, pela confiança, ensinamento, dedicação e pelo grande exemplo profissional.

Ao grande amigo que o mestrado me trouxe, Renato Carvalho, pelas incontáveis vezes que não poupou esforços para me ajudar, pelo companheirismo, pelas experiências transmitidas e pelas histórias repetidas.

Ao Prof. Dr. Laurício Endres, por ceder todos os equipamentos que precisei durante a realização deste trabalho e por dispor de seu tempo para sanar todas as minhas dúvidas.

Ao Prof. Dr. José Vieira, pelos conhecimentos transmitidos e por ceder equipamentos para a realização deste trabalho.

Ao Dr. João Gomes e à Embrapa por disponibilizar o local de realização do experimento.

À CAPES pela concessão da bolsa e pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia e a todos os docentes que contribuíram para meu aprendizado ao longo do curso, pela paciência, orientação e aprendizado.

Aos colegas do laboratório de fisiologia vegetal, Andréa, Jailma, e André que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, e em especial ao Raphael por todo suporte durante as avaliações.

À técnica do laboratório de fisiologia vegetal, Isabella, pela dedicação e prestatividade.

À todos os colegas do BIOVEG pelo companheirismo.

Aos funcionários da secretaria de pós-graduação, em especial ao Gustavo, pela gentileza e profissionalismo.

Aos meus Pais, pessoas fundamentais para a minha existência.

Aos meus Irmãos por todo o apoio e amizade.

À Dayane, por todo apoio, amor e compreensão em todos os momentos.

À Juliany e Gleica pela imensa amizade, ajuda durante o curso e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos meus amigos que de algum modo colaboraram para a realização desse trabalho.

A estes meus agradecimentos.

“... Quem pensa por si mesmo é livre...”

Renato Russo

RESUMO

A pinha (*Annona squamosa* L.) é uma cultura muito importante no contexto do semiárido nordestino pois representa uma alternativa de extremo potencial produtivo que pode empregar mão de obra em regiões com problemas de seca, e compreender os mecanismos de resposta à essas condições ambientais pode apoiar o gerenciamento de genótipos para a agricultura de precisão moderna. Este trabalho teve como objetivo avaliar dois acessos de pinha, Crioula (com camada espessa de cera nas folhas) e Verdinha (sem deposição de cera aparente nas folhas) durante o crescimento inicial sob condições de estresse hídrico em duas épocas: época chuvosa, compreendida entre julho e agosto de 2017 e época seca, avaliada em janeiro de 2018. O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, em esquema fatorial 2 x 4, sendo dois acessos de pinheira e quatro tempos (0, 5, 10 e 15 dias) de estresse após suspensão da irrigação para a época chuvosa e 0, 3, 6 e 9 dias após a suspensão da irrigação para a época seca, em delineamento experimental inteiramente casualizado com 6 repetições. Os resultados das variáveis fisiológicas avaliadas mostraram que durante a época chuvosa houve maior taxa fotossintética nos dois acessos independentemente do nível de estresse. A maior taxa fotossintética ($35,44 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foi observada no tratamento controle com o acesso Crioula na época chuvosa; a menor taxa ($0,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foi observada no acesso Verdinha no tratamento com estresse máximo. O valor máximo de condutância estomática ($0,69 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e mínimo ($0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram observados em mudas avaliadas na época seca. O valor máximo de transpiração ($5,49 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}$) foi observado no acesso Verdinha no tratamento controle com irrigação plena na época chuvosa, e o valor mínimo ($0,43 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}$) foi observado no tratamento Crioula na época seca no tratamento sob estresse de 15 dias. As plantas avaliadas na época chuvosa mantiveram maior potencial hídrico foliar. Na época seca houve uma redução significativa na eficiência quântica potencial do PSII nas plantas no tratamento sob estresse máximo (09 dias). A eficiência quântica efetiva do PSII e o índice SPAD não mostraram sensibilidade nos resultados para os níveis de estresse adotados. As alterações fisiológicas evidenciaram que os dois acessos de *A. squamosa* possuem alta capacidade de adaptabilidade em condições de estresse hídrico independente da deposição de cera nas folhas.

Palavras-chave: pinha, anonáceas, resistência à seca, trocas gasosas, semiárido.

ABSTRACT

The sugar apple (*Annona squamosa* L.) is a very important crop in the context of the Brazilian Northeastern semi-arid because it represents an alternative of extreme productive potential that can employ labor in a region with drought problems. The objective of this work was to evaluate two accessions of sugar apple, Crioula (with thick wax layer in the leaves) and Verdinha (no wax deposition in the leaves) during initial growth under water stress conditions in two seasons: rainy season (July and August 2017) and dry season (January 2018). The work was carried out in a greenhouse, in a 2 x 4 factorial scheme, with two accessions of sugar apple and four times (0, 5, 10 and 15 days) of stress after irrigation suspension in the rainy season and 0, 3, 6 and 9 days after the suspension of the irrigation in the dry season, in a completely randomized design with 6 replicates. The results of the physiological variables evaluated showed that during the rainy season there was a higher photosynthetic rate in the two accessions regardless of the level of stress. The highest photosynthetic rate ($35.44 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) was observed in the control treatment with Crioula access in the rainy season; the lowest rate ($0.80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) was observed in the Verdinha access in the treatment with maximum stress. The maximum value of stomatal conductance ($0.69 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) and minimum ($0.02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) were observed in seedlings evaluated in the dry season. The maximum value of transpiration ($5.49 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}$) was observed in the Verdinha access in irrigated regime in the rainy season, and the minimum value ($0.43 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}$) was observed in the Crioula in the dry season at treatment under stress of 15 days. The plants evaluated in the rainy season maintained greater leaf water potential. In the dry season there was a significant reduction in the potential quantum efficiency of PSII in plants under treatment under maximum stress (09 days). The effective quantum efficiency of PSII and the SPAD index did not show sensitivity in the results for the stress levels adopted. The physiological changes evidenced that the two accessions of *A. squamosa* have high adaptability under conditions of water stress independent of the wax deposition in the leaves.

Key words: sugar apple, anonaceous, drought resistance, gas exchange, semi-arid.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Preparo dos vasos com uso de britas e manta semipermeável para favorecer o processo de drenagem (A); Preparo do Substrato com peneiramento, correção da fertilidade e mistura com esterco curtido (B); poda de todas as mudas em altura de 34 cm e desfolhamento para estabelecer o mesmo padrão para todas as parcelas (C); transplântio das mudas para os vasos (D).....23
- Figura 2:** Umidade de solo com dois acessos de pinha (A. squamosa) submetidas a estresse hídrico no verão (A) e Inverno (B).....25
- Figura 3:** determinação da clorofila total usando o clorofilômetro portátil SPAD-502 na face abaxial da quarta folha totalmente expandida a partir do ápice em mudas de pinheira.26
- Figura 4:** Calibração do analisador de gases por infravermelho (IRGA) LI 6400XT (LI-COR, USA) antes das avaliações (A); Medições das trocas gasosas em mudas de pinha (B).....26
- Figura 5:** Medições da eficiência quântica potencial do PSII na antemanhã após a adaptação das folhas ao escuro com o uso de pinças (A); Medições da eficiência quântica potencial e efetiva do PSII ao meio dia (B)27
- Figura 6: Temperatura e Umidade relativa do ar (UR) (A); Radiação e Déficit de Pressão de Vapor (DPV) (B) Registrados no período de avaliação do experimento durante o inverno. ...28
- Figura 7: Temperatura e Umidade relativa do ar (UR) (A); Radiação e Déficit de Pressão de Vapor (DPV) (B) Registrados no período de avaliação do experimento durante o verão.29
- Figura 8:** Fotossíntese (A) (A); Condutância estomática (G_s) (B) Transpiração (C); Potencial hídrico foliar (D); Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã (E) e ao meio dia (F); Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕ_{PSII}) ao meio dia (G) e índice SPAD (H) em acessos de pinheira submetidas ao estresse hídrico.....33
- Figura 9:** Fotossíntese (A) (A); Condutância estomática (G_s) (B) Transpiração (C); Potencial hídrico foliar (D); Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã (E) e ao meio dia (F); Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕ_{PSII}) ao meio dia (G) e índice SPAD (H) em acessos de pinheira após a reidratação por dois dias.36
- Figura 10:** Fotossíntese (A) (A); Condutância estomática (G_s) (B) Transpiração (C); Potencial hídrico foliar (D); Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã (E) e ao meio

dia (F); Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕ PSII) ao meio dia (G) e índice SPAD (H) em acessos de pinheira submetidas ao estresse hídrico em época chuvosa. 39

Figura 11: Fotossíntese (A) (A); Condutância estomática (G_s) (B) Transpiração (C); Potencial hídrico foliar (D); Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã (E) e ao meio dia (F); Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕ PSII) ao meio dia (G) e índice SPAD (H) em acessos de pinheira após a reidratação no inverno.42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização química e capacidade de retenção de água no solo utilizado no experimento.	24
Tabela 2: Médias de fotossíntese (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Condutância Estomática (Gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}$), Potencial Hídrico foliar - Ψ_w (MPa), Eficiência quântica potencial do PSII (fv/fm) na antemanhã e ao meio dia, Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕPSII) ao meio dia e índice SPAD em acessos de pinheira submetidas ao estresse hídrico. As letras maiúsculas comparam estatisticamente tratamentos acessos crioula e verdinha e letras minúsculas comparam o nível de estresse dentro do acesso. Médias com a mesma letra não diferem pelo teste LSD/Fisher ($p < 0,05$).	34
Tabela 3: Médias de fotossíntese (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Condutância Estomática (Gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}$), Potencial Hídrico foliar - Ψ_w (MPa), Eficiência quântica potencial do PSII (fv/fm) na antemanhã e ao meio dia, Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕPSII) ao meio dia e índice SPAD em acessos de pinheira após o período de reidratação por dois dias no verão. As letras maiúsculas comparam estatisticamente tratamentos acessos crioula e verdinha e letras minúsculas comparam o nível de estresse dentro do acesso. Médias com a mesma letra não diferem pelo teste LSD/Fisher ($p < 0,05$).	37
Tabela 4: Médias de fotossíntese (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Condutância Estomática (Gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}$), Potencial Hídrico foliar - Ψ_w (MPa), Eficiência quântica potencial do PSII (fv/fm) na antemanhã e ao meio dia, Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕPSII) ao meio dia e índice SPAD em acessos de pinheira submetidas ao estresse hídrico em época chuvosa. As letras maiúsculas comparam estatisticamente tratamentos acessos crioula e verdinha e letras minúsculas comparam o nível de estresse dentro do acesso. Médias com a mesma letra não diferem pelo teste LSD/Fisher ($p < 0,05$).	40
Tabela 5: Médias de fotossíntese (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Condutância Estomática (Gs) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}$), Potencial Hídrico foliar - Ψ_w (MPa), Eficiência quântica potencial do PSII (fv/fm) na antemanhã e ao meio dia, Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕPSII) ao meio dia e índice SPAD em acessos de pinheira submetidas ao estresse hídrico em época chuvosa e posterior reidratação. As letras maiúsculas comparam estatisticamente tratamentos acessos crioula e verdinha e letras minúsculas comparam o nível de estresse dentro do acesso. Médias com a mesma letra não diferem pelo teste LSD/Fisher ($p < 0,05$).	43

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

<i>A</i>	Taxa fotossintética
DPV	Déficit de pressão de vapor
<i>E</i>	Taxa de transpiração
F _m	Fluorescência máxima
F _v	Fluorescência variável
<i>G_s</i>	Condutância estomática
IRGA	Infrared gas analyzer (Analisador de gases a infravermelho)
PSII	Fotossistema II
CO ₂	Dióxido de carbono
F _v /F _m	Eficiência fotoquímica potencial do PSII
ΦPSII	Rendimento efetivo do PSII
Ψ _w	Potencial hídrico da folha
UR	Umidade Relativa

Sumário

RESUMO	V
ABSTRACT	VI
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1.Família Annonaceae	15
2.2.A pinheira (<i>Annona squamosa</i> L.).....	15
2.3.Água e o déficit hídrico	16
2.4.Respostas ao estresse hídrico.....	18
2.4.1. Mecanismos de adaptação e aclimatação	18
a) Tolerância à desidratação (evitação)	18
b) Fechamento estomático	18
c) Redução da transpiração cuticular	19
d) Redução da área transpirante	19
e) Crescimento acentuado das raízes	19
2.4.2. Eficiência quântica do PSII	19
2.4.3. Trocas gasosas	20
2.4.4. Índice SPAD	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1.Local do experimento	22
3.2.Material vegetal e condução do experimento	22
3.3.Determinação da umidade do solo.....	24
3.4.Avaliações fotossintéticas	25
3.5. Determinação do potencial hídrico foliar	27
3.6.Delineamento Experimental	29

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, ocupa um lugar de destaque quando se trata de produção e comercialização de grande número de espécies anonáceas (ZUCARELI et al., 2008). As anonáceas que produzem frutos comestíveis são plantas nativas de regiões tropicais e subtropicais das Américas (SOBRINHO, 2010). Várias espécies do gênero *Annona* são nativas do Brasil e outras como a pinheira (*Annona squamosa* L.) foram introduzidas desde o Século XVII (CORDEIRO, 2000). Devido à boa adaptação às condições edafoclimáticas e por despertar grande interesse no mercado nacional de frutas *in natura*, a cultura da pinheira difundiu-se em várias regiões do país, se estendendo da região Norte até o estado de São Paulo (RIBEIRO, 2006; SOBRINHO, 2010). Além da pinha, a cherimólia (*Annona cherimola*) e seus híbridos conhecidos como atemórias são também importantes frutos para o mercado de mesa (LEMOS, 2014).

A pinha vem sendo cultivada em escala comercial em vários estados brasileiros, mas foi na região semiárida do Nordeste que esta frutífera se espalhou, tendo a Bahia como o maior produtor de pinha do país atualmente (SEAGRI, 2015), seguido pelo Noroeste de São Paulo, Alagoas, Pernambuco e, mais recentemente, no Norte de Minas Gerais (MANICA E OLIVEIRA, 2009). A produção também é explorada, com menos frequência, de forma extrativista à nível de subsistência em pequenos pomares, sem que sejam adotadas técnicas de manejo apropriada (DIAS, 2003).

As regiões preferenciais de cultivo da pinheira estão localizadas em zonas quentes ou semiáridas com acentuado déficit hídrico na maior parte do ano (SÃO JOSÉ, 2014). Tais condições climáticas produzem estresse às plantas que respondem muito bem com uma série de adaptações que incluem fechamento de estômatos, proteção cerosa das folhas, abscisão foliar e sistema radicular profundo. Todavia, mesmo com todas essas adaptações o estresse hídrico promove uma diminuição na taxa de crescimento vegetativo às plantas (CORDEIRO, 2000).

Da Silva Oliveira (2016) destaca a importância da cultura da pinha, pois representa umas das mais relevantes alternativas de produção no semiárido, sendo responsável por empregar mão de obra justamente em regiões com problemas relacionados à seca. A seca é uma das principais limitações na produção de alimentos em todo o mundo (BLUM, 2018). À medida em que a população mundial cresce ocorre um declínio no fornecimento de água para

a produção agrícola, e o desenvolvimento de cultivares tolerantes e eficientes em uso de água é uma preocupação global (BARNABÁS, 2008).

O estresse é uma condição considerada como um afastamento expressivo das condições ótimas para a sobrevivência, que independente do grau em que ocorra, é responsável por induzir mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, essas mudanças podem ser reversíveis à princípio, mas podem, também, se tornarem permanentes (MUNNS, 2002; LARCHER, 2008; TAIZ e ZEIGER, 2013). Mesmo em casos em que o estresse ocorra somente de forma temporária, a resistência da planta torna-se cada vez menor conforme a duração do estresse (BIANCHI et al. 2016). Quando a planta atinge o limite máximo da sua capacidade de se ajustar a tal condição desfavorável, os distúrbios que antes não se manifestavam aparecem na forma de doenças crônicas ou injúrias irreversíveis (LARCHER, 2008).

As alterações fisiológicas que ocorrem nas plantas são os maiores indicativos de suas capacidades para resistir às adversidades causada pelo estresse (CHAUMONT E TYERMAN, 2014; KIRKHAM, 2014). Isso porque a fotossíntese é responsável por fornecer energia necessária à manutenção e desenvolvimento da planta e comprometer este processo provoca redução no potencial de crescimento das mesmas (DUARTE, 2003; SOARES DE MELO et al, 2010). O estresse causado por deficiência hídrica normalmente aumenta a resistência difusiva ao vapor de água, por intermédio do fechamento estomático, reduzindo a transpiração, evitando maior perda de água, e conseqüentemente reduzindo a fotossíntese (NOGUEIRA, 2000).

De todos os recursos necessários para o desenvolvimento da planta a água é o mais limitante (DE SOUZA, 2001). A limitação de água é uma realidade nos municípios produtores de pinha do Estado de Alagoas. Assim, a busca por soluções a este fator ambiental é baseado numa utilização mais eficiente dos recursos hídricos que é uma solução fundamental para o aumento da produtividade das plantas em ambientes com déficit hídrico (SINCLAIR, 2008). E além deste, é comum a utilização de plantas adaptadas a tais adversidades, plantas que possuem a capacidade de superar períodos de estiagem.

Compreender os mecanismos subjacentes a essas diferentes respostas pode apoiar o projeto de novas ferramentas de gerenciamento e genótipos para agricultura de precisão moderna. Dada a importância dessas informações, e para melhor permear a produção de pinha, houve a necessidade de se trabalhar com esses acessos com o objetivo de avaliar as alterações fisiológicas das plantas em crescimento inicial, caracterizando à nível de espécie e comparando as respostas entre os dois acessos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Família Annonaceae

As anonáceas são plantas que têm origem em países tropicais e subtropicais e muitas das espécies desta família produzem frutos comestíveis cultivados em pomares comerciais ou coletados de forma extrativista (FERREIRA, 1997; SÃO JOSÉ, 2014). Na literatura relata-se que a família Annonaceae é constituída por aproximadamente 120 gêneros e em torno de 2.300 espécies em todo o planeta que estão distribuídas em quatro subfamílias: Ambavioideae, Anaxagoreoideae, Annonoideae e Malmeoideae (SOBRINHO, 2010; CHATROU et al. 2012). O gênero *Annona* pertencente a subfamilia Annonoideae, possui 118 espécies, sendo 108 de origem da América Tropical e somente 10 de origem Africana, sendo a espécie *Annona glabra* relatada nesses dois continentes (MAAS, 2010; SÃO JOSÉ, 2014). Apesar do número de espécies ser relativamente grande apenas 9 são cultivadas visando a produção de frutos comestíveis, e somente 5 possuem valor econômico, sendo que, dessas, três se destacam no mercado: Graviola (*Annona muricata*), Pinha (*Annona squamosa*) e Cherimóia (*Annona cherimola*) além da atemoia que é um híbrido da pinha e a cherimóia (SÃO JOSÉ, 2014).

A grande parte das plantas da família das anonáceas estabelecem plantas lenhosas, como árvores e arbustos, possuem folhas inteiras de disposição alterna, dística, sem estípulas (SILVA, 2009). Exibem suas flores tanto de forma isolada ou reunidas em inflorescências hermafroditas, diclamídeas, tendo o perianto diferenciado em cálice e corola, sendo geralmente trímeros e carnosos (SILVA, 2009; PAULINO-NETO, 2014). O ovário é supero, com carpelos muito numerosos, em disposição espiralada, livres entre si, apocárpicos com um ou mais óvulos. O fruto é apocárpico cordiforme, raramente seco, capsular, com frutículos soldados entre si. A semente caracteriza-se por apresentar endosperma ruminado (MANICA, 2003).

2.2. A pinheira (*Annona squamosa* L)

A pinheira é uma planta de porte arbóreo ou arbustivo que tem a altura variando entre 4m e 6m, sendo sua copa bastante ramificada e as folhas possuem comprimento de 5cm a 15cm por 2cm a 6cm de largura, são lanceoladas, decíduas e possuem uma coloração verde-brilhante na face superior e verde azulada em sua face abaxial (FILHO et al. 1998; CORDEIRO et al. 2000). As flores têm tamanho variando entre 20mm e 35mm de comprimento, peso de aproximadamente 0,68g, diâmetro de 8,2cm e pedicelo de 1 a 2cm, sendo originadas de ramos novos (ramos de crescimento anual), onde as pétalas são amarelo-verdosas por fora e amareladas com uma mancha roxa na base (CORDEIRO et al. 2000; RIBEIRO, 2006).

O fruto é caracterizado por ser uma baga composta, podendo ter forma arredondada, ovoide, esférica ou cordiforme, tem a coloração esverdeada e medem aproximadamente entre 5cm e 10cm de diâmetro, são formados por muitos carpelos, protuberantes em grande parte dos tipos, que envolvem cada semente separadamente, produzindo cerca de 68 sementes por fruto, e são cobertos na parte externa por saliências achatadas em forma de tubérculos. Os frutos pesam em média de 200 a 450g e podem chegar em alguns casos a 800g, a polpa corresponde a 38,2% do fruto, sendo a maior parte dele representada pela casca que contribui com 54,2% e a semente equivale 7,6%. De acordo com Filho (1998), as características físicas e químicas da polpa mostram um teor de sólidos solúveis totais acima de 20° Brix e acidez total titulável abaixo de 0,24%.

A pinheira é uma frutífera de clima tropical e subtropical, que se desenvolve bem em regiões de clima quente e com chuvas sem excessos, necessitando de estação seca bem definida para produzir economicamente frutos de primeira qualidade (DIAS, 2003). A maior parte dos plantios comerciais estão nas proximidades do nível do mar ou até uma altitude máxima de 800 metros (MANICA 2003).

Nas regiões de clima semiárido do Nordeste brasileiro, a planta encontrou excelente adaptação; existindo cultivos domésticos e pomares comerciais, a maioria baseados em plantas propagadas por sementes do grupo crioula, adaptada às diferentes regiões, como boa produtividade e aceitabilidade (CORDEIRO, 2000; MANICA, 2003)

2.3. Água e o déficit hídrico

A água é a substância mais abundante do planeta e a mais essencial para a manutenção da vida nele e todas as formas de vida de alguma maneira estão intrinsicamente em contato com a água (VIEIRA et al., 2010; REBOUÇAS, 2015). As plantas, bem como a maioria dos seres vivos, possuem dependência de vários fatores e recursos para crescer, funcionar e

reproduzir, e a água além de ser o recurso mais abundante é também o mais limitante para a sobrevivência das plantas (GUREVITCH et al., 2009; TAIZ E ZEIGER, 2013; FERREIRA, 2017). A prática de irrigação das culturas reflete o fato de que a água é um recurso-chave que limita a produtividade agrícola (LARCHER, 2004; TAIZ E ZEIGER, 2013).

A água é absorvida do solo, movimentada-se através da planta e boa parte é perdida para a atmosfera em forma de vapor, processo conhecido como transpiração (LACERDA, 2007; VESALA, 2017). Em condições de calor de um dia ensolarado, a folha de uma planta pode trocar 100% do seu conteúdo de água em apenas uma hora (KERBAUY, 2004). De acordo com Pimenta (2004), em média, para cada 2g de matéria orgânica que é produzida pela planta, aproximadamente 1 litro de água é absorvido pelas raízes, transportado através do corpo da planta e perdido para a atmosfera. Em plantas mesófitas com solo em ótimas condições de umidade e atmosfera com baixa umidade relativa (UR) cerca de 82% da água absorvida é transpirada e 18% é armazenada (KERBAUY, 2008).

Dada a diversidade de funções biológicas que a água exerce sobre a planta se faz necessário estudar as relações hídricas entre planta e ambiente (ANGELOCCI, 2002). Os vegetais possuem vários mecanismos que desempenham funções específicas, e que em conjunto permitem sua sobrevivência e, com frequência desenvolver-se nos ambientes complexos onde vivem (MICKELBART, 2015; TAIZ et al., 2017). A adaptação ao ambiente é caracterizada por mudanças genéticas em toda a população, que foram adquiridas por meio de seleção natural através de muitas gerações. Em contrapartida, indivíduos vegetais podem também responder as mudanças ambientais, alterando diretamente sua fisiologia ou morfologia para que possam sobreviver ao ambiente (KERBAUY, 2008; TAIZ E ZEIGER, 2013).

Independente de qualquer em que as plantas cresçam, elas serão submetidas às alterações no ambiente que podem impor condições de estresses, e também limitar seu desenvolvimento e suas chances de sobrevivência (NASCIMENTO, 2009). A seca é considerada um fator de estresse quando a disponibilidade de água não está acessível em um estado termodinâmico apropriado (COELHO, et al., 2009). Essa situação pode ocorrer em função de várias razões, como, por exemplo, intensa evaporação, água líquida osmoticamente presa aos solos salinos ou, ainda devido ao congelamento dos solos (LARCHER, 2008).

Quando o solo seca, sua condutividade hidráulica decresce drasticamente, especialmente próximo ao ponto de murcha permanente (MARQUES, 2008; TAIZ E ZEIGER, 2013). A redistribuição de água nas raízes frequentemente ocorre à noite, quando a demanda evaporativa a partir das folhas é baixa (PIMENTEL, 2004). Porém, no ponto de

murcha permanente, a distribuição de água para as raízes é excessivamente lenta para permitir a reidratação noturna de plantas que murcharam durante o dia (TAIZ E ZEIGER, 2013).

O estresse hídrico que uma planta sofre durante o seu cultivo não depende somente de sua capacidade de resistência à seca, mas também das condições relacionadas ao habitat (PIMENTEL, 2004; AOYAMA, 2006). O limite crítico pode se referir tanto ao primeiro sinal visível de injúria causada pela seca como também o início dos distúrbios de uma determinada função da planta (LARCHER, 2008).

2.4. Respostas ao Estresse Hídrico

De acordo com Akinci e Lösel (2012), as plantas adaptadas a ambientes secos podem ser expressas em quatro níveis: fenológicas ou de desenvolvimento, morfológicas, fisiológicas e metabólicas. A forma como a planta se adapta e responde ao déficit hídrico depende de várias características fisiológicas e morfológicas, sendo estes fatores que determinam o grau de tolerância das plantas à intensidade da seca (BRAY, 1993; AKINCI e LÖSEL, 2012).

O conceito de estresse está diretamente ligado à capacidade de tolerância que a planta possui, ou seja, sua aptidão para enfrentar um ambiente desfavorável (TAIZ E ZEIGER, 2013). E esta aptidão pode ser por meio da aclimatação, que é a tolerância aumentada da planta em função de uma exposição anterior ao estresse, ou adaptação que se refere à resistência geneticamente determinada adquirida por uma seleção natural por muitas gerações (BARRETO E BARBOSA, 2001).

2.4.1. Mecanismos de adaptação e aclimatação

- a) **Tolerância à desidratação (evitação):** Estrategicamente a planta aumenta ao máximo a captação de água e reduz suas perdas, como forma de retardar ao máximo possível desidratação para que a planta não chegue ao déficit hídrico (DIAS, 2008).
- b) **Fechamento estomático:** Como os estômatos são responsáveis pelo controle de perda de água, uma das primeiras estratégias das plantas é promover seu fechamento, que ocorre, normalmente, através de um sinal hormonal liberado das raízes (LARCHER, 2008). A baixa disponibilidade hídrica causa a queda do potencial hídrico das folhas provocando a perda da turgescência e redução da condutância estomática resultando no fechamento dos estômatos (TAIZ e ZEIGER, 2013).
- c) **Redução da transpiração cuticular:** O fechamento estomático pode não ser suficiente

para manter a vitalidade da planta em casos de estresses mais severos, e nesses casos a transpiração cuticular se torna importante, reduzindo a perda de água pela epiderme através do aumento do depósito de cera (SPERRY, 2000; TAIZ E ZEIGER, 2013).

- d) Redução da área transpirante:** uma menor área foliar significa menor transpiração da planta (ASIF, 2011). É uma das formas de redução é a abscisão foliar, onde, as folhas que já tinham atingido a maturidade no momento de estresse, sofrerão senescência, abscisão e, por fim, cair, sendo este fator importante para a determinação da quantidade de água perdida pela planta. O estresse hídrico limita o número e a taxa de crescimento dos ramos (SANTOS E CARLESSO, 1998). A diminuição da taxa de crescimento de ramos vegetativos em pinha pode ser devido às condições de déficit hídrico (CORDEIRO et al, 2000).
- e) Crescimento acentuado das raízes:** A resposta mais imediata da planta sob condição de déficit hídrico é a diminuição da expansão foliar seguido da diminuição da atividade fotossintética. Como efeito desta resposta há uma redistribuição de carbono e energia na planta, fazendo com que as raízes recebam uma maior proporção desses fotoassimilados sustentando seu crescimento que é preferencial em direção às regiões mais úmidas do solo (TAIZ e ZEIGER, 2013).

2.4.2. Eficiência quântica do fotossistema

Maxwell e Johnson (2000) afirmam que a fluorescência da clorofila é uma técnica que tem se tornado cada vez mais importante para se estudar a performance fotossintética da planta. Sendo a fotossíntese referida como um processo físico-químico de síntese de compostos orgânicos realizadas por vegetais portadores de clorofila (DUARTE, 2003).

A energia da luz do sol absorvida pelas moléculas de clorofila podem sofrer quatro destinos, que são: fluorescência – onde a clorofila excitada reemite o fóton e retorna ao seu estado-base; O excesso de energia pode ser dissipado na forma de calor; pode ocorrer transferência de energia de uma molécula de clorofila excitada para outra; e por fim, poderá ocorrer o processo fotoquímico, no qual a energia poderá ser usada para conduzir a fotossíntese (MAXWELL E JOHNSON, 2000; TAIZ E ZEIGER, 2013).

Baseado no processo de fluorescência da clorofila é que se quantifica o rendimento quântico. Isso porque o comprimento de onda que é reemitido é mais longo que o absorvido, então expõem-se um as folhas a um comprimento de onda longo e como resposta tem-se o rendimento quântico do fotossistema (WEIS, 1987).

Kautsky et al. (1960), observou que ao transferir um material fotossintético do escuro para a luz houve um aumento do rendimento de fluorescência da clorofila. E esse aumento deve-se a uma redução de aceptores de elétrons na via fotossintética que encontrasse a jusante do PSII (MEYER, 1983; MAXWELL E JOHNSON, 2000; CASTRO, 2005). E uma vez que o PSII absorve luz e tenha aceitado um elétron, não capta outro até que se tenha passado o primeiro para um transportador adequado de elétrons, e é neste período em que o centro de reação encontra-se fechado, ocasionando uma redução na eficiência fotoquímica (BERNARDES, 1987; TAIZ E ZEIGER, 2013).

O principal parâmetro utilizado na avaliação dos danos ao sistema fotossintético é a razão F_v/F_m , a qual indica a eficiência fotoquímica do fotossistema II (PSII) (CAMPOSTRINI, 2001; QUEIROZ, 2002; SOARES DE MELO, 2010). Essa razão entre fluorescência variável e fluorescência máxima mostra a captura de energia de excitação pelos centros de reações abertos do PSII (BAKER, 1991)

De acordo com Do Carmo Araújo (2009) afirma que a eficiência quântica potencial do PSII (F_v/F_m) é um indicador da performance fotossintética da planta, e que a relação F_v/f_m pode variar entre 0,75 e 0,85 para plantas em condições ótimas de ambiente.

2.4.3. Trocas Gasosas

Os estômatos são os órgãos responsáveis pelas trocas gasosas nas plantas (BURROWS, 1976). É por ele que ocorre a entrada de CO_2 no mesófilo foliar por diferença de concentração com a atmosfera e a saída de água na forma de vapor, através de um processo conhecido como transpiração (MEINZER, 2017).

O movimento estomático é o principal mecanismo de regulação das trocas gasosas nas plantas, sendo também o meio mais rápido que as plantas possuem para se ajustar as variações do ambiente (PASSIOURA, 1982). Machado (1994) afirma que condições favoráveis a fixação de CO_2 influenciam a abertura estomática, em contrapartida, condições que ocasionam a perda excessiva de água, favorecem o seu fechamento.

A luz possui um efeito indireto sobre o movimento estomático, através do aumento da fotossíntese nas células guardas, ocasionando a sua abertura (KERBAUY, 2004). O aumento do CO_2 pode provocar o fechamento dos estômatos após atingir o ponto de saturação, e dependendo do ponto de compensação de CO_2 em função o metabolismo da planta pode ocorrer uma situação inversa e provocar a máxima abertura estomática (ANGELOCCI, 2002; CRUZ,

2003).

A temperatura também é um fator que influencia indiretamente na movimentação estomática, podendo elevar a temperatura interna da folha, que vai exigir maior transpiração, podendo ocorrer um déficit hídrico temporário no mesófilo ocasionando o fechamento dos estômatos (KERBAUY, 2004; LAMBERS, 2008).

A água é o fator ambiental que mais influencia na movimentação dos estômatos, pois independente de luz, CO₂ e temperatura, se não houver água para promover a turgescência das células guardas, não haverá abertura estomática (BRODRIBB, 2003; LARCHER, 2003; KERBAUY, 2004).

Em resposta ao estresse hídrico, as plantas regulam sua transpiração ao diminuir a sua condutância estomática. Embora isso reduza seu potencial fotossintético, elas fazem isso para evitar danos de desidratação às células e tecidos (SPERRY, 2000).

2.4.4. Índice SPAD

As clorofilas são pigmentos presentes nas plantas responsáveis por realizar a fotossíntese. O potencial fotossintético das plantas pode ser determinado pelo conteúdo de clorofila nas folhas, isso devido a sua ligação direta com a absorção e transferência de energia luminosa (BELTRÃO, 2011). Então, uma planta com alta concentração de clorofila é capaz de atingir taxas fotossintéticas mais altas, em função de seu valor potencial de captação de “quanta” na unidade de tempo.

A determinação de clorofila realizada diretamente no campo se tornou mais fácil e rápida, do que aquelas realizadas em laboratórios, apesar de não ter a mesma precisão (GUIMARÃES, 1999).

Neves (2005) afirma que o medidor indireto de clorofila Minolta SPAD-502 fornece leituras que estabelecem relações com o teor de clorofila presente nas folhas. E os valores dessas medidas são calculados pela leitura diferencial da quantidade de luz transmitidas na folha, em duas regiões do comprimento de onda, que são, 650 nm e 940 nm, sendo que a clorofila absorve luz no primeiro comprimento de onda (SWIADER E MOORE, 2002).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Local do Experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação cedida pela Embrapa (Unidade de Execução de Pesquisa – Rio Largo) no Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), campus Rio Largo - AL (coordenadas 09°28'02"S;35°49'43W e altitude de 127 metros) visando estabelecer a capacidade de crescimento e resistência ao estresse hídrico de plantas jovens de dois acessos de pinheira.

3.2. Material Vegetal e Condução do Experimento

O experimento foi conduzido com dois acessos (genótipos) de pinheira (*Annona squamosa* L.) existentes no banco de germoplasma de pinheira do CECA-UFAL: genótipo Crioula (com cera nas folhas), amplamente utilizada nas áreas de cultivo comercial das zonas semiáridas do Nordeste, e o genótipo Verdinha (sem cera nas folhas), ainda não cultivada comercialmente.

Foram utilizadas plantas jovens com dez meses de idade formadas a partir de sementes obtidas de frutos das duas cultivares. As plantas foram estabelecidas em vasos plásticos com capacidade para 20 litros, que tiveram a parte inferior furada para permitir a drenagem, e para melhor garantir o procedimento foi colocado brita no fundo do vaso com a finalidade de aumentar a porosidade e sobre a mesma foi colocada uma manta semipermeável para evitar a perda de solo pelo local de drenagem (Figura 1.a), o substrato foi preparado com solo e esterco curtido (Figura 1.b). As mudas foram podadas (Figura 1.c) na mesma altura e desfolhadas para que partisse da mesma condição de tamanho, depois foram transplantadas nos vasos (Figura 1.d).

Figura 1: Preparo dos vasos com uso de britas e manta semipermeável para favorecer o processo de drenagem (A); Preparo do Substrato com peneiramento, correção da fertilidade e mistura com esterco curtido (B); poda de todas as mudas em altura de 34 cm e desfolhamento para estabelecer o mesmo padrão para todas as parcelas (C); transplântio das mudas para os vasos (D).



Foram estabelecidas duas épocas (inverno e verão) para a coleta das variáveis fisiológicas. Para as duas épocas foram estabelecidos intervalos de restrição hídrica baseados nas condições de clima, levando em consideração, principalmente, o déficit de pressão de vapor (DPV). Para o inverno os intervalos foram: 0 dias (controle), 5 dias (estresse leve), 10 dias (estresse moderado) e 15 dias (estresse máximo); e para avaliação no verão usou-se: 0 dias (controle), 3 dias (estresse leve), 6 dias (estresse moderado) e 9 dias (estresse máximo). Após as avaliações feitas nas plantas estressadas elas foram reidratadas por 2 dias e feita uma nova observação das alterações fisiológicas.

Foi coletada uma amostra composta do substrato já pronto e levado para laboratório para se realizar uma caracterização das propriedades químicas e capacidade de retenção de água do solo (Tabela 1). A capacidade de retenção de água do solo foi determinada utilizando a metodologia do anel volumétrico (Embrapa, 1997).

Tabela 1: Caracterização química e capacidade de retenção de água do solo utilizado no experimento.

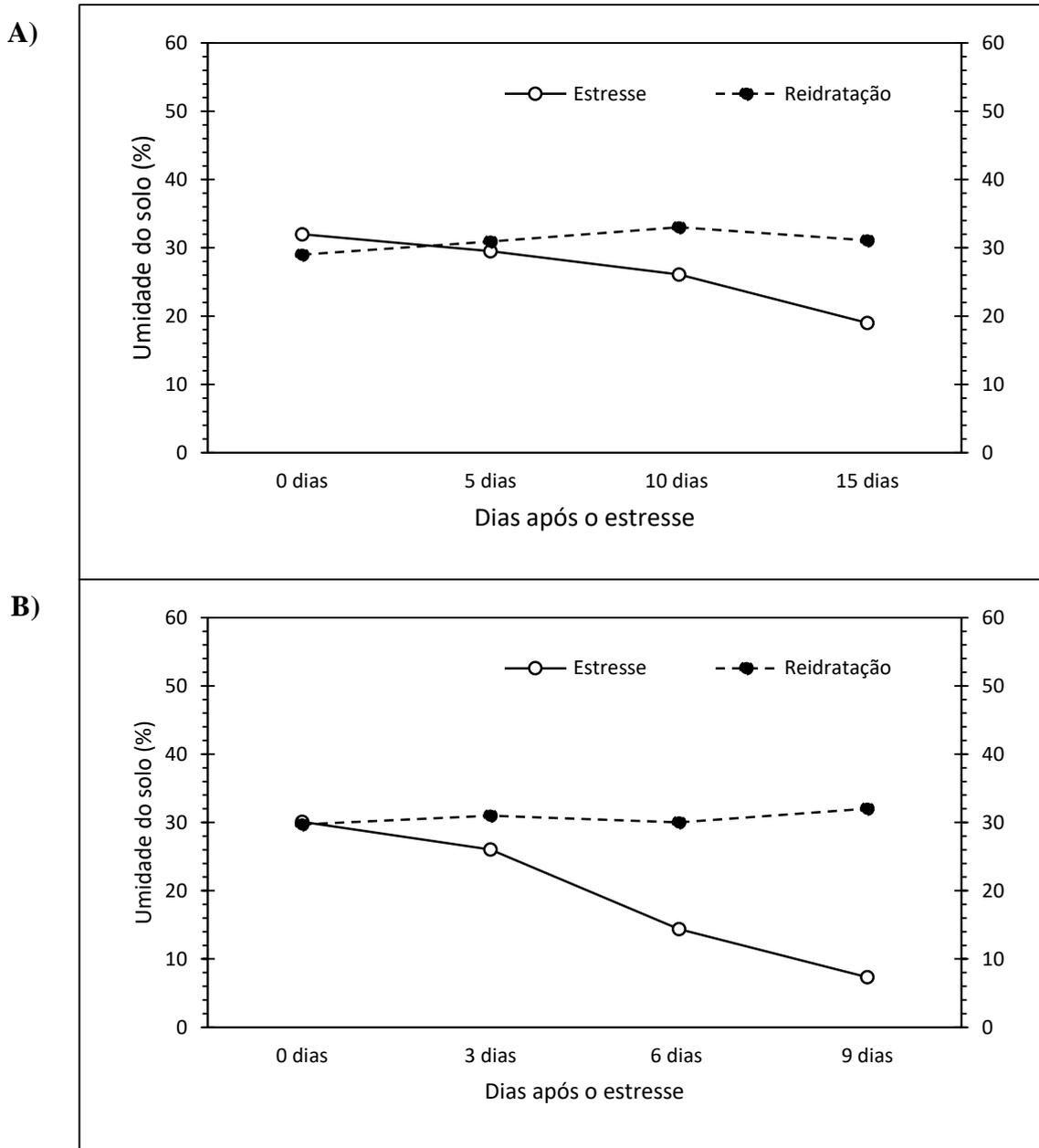
Análise Química do solo		
Parâmetro	Unidade	Valor
PH		6,1
Na	mg dm ⁻³	54
P	mg dm ⁻³	179
K	mg dm ⁻³	111
Ferro	mg dm ⁻³	148,1
Cobre	mg dm ⁻³	2,46
Zinco	mg dm ⁻³	19,83
Manganês	mg dm ⁻³	61,8
Ca + Mg	cmolcdm ⁻³	6,7
Ca	cmolcdm ⁻³	5,5
Mg	cmolcdm ⁻³	1,2
Al	cmolcdm ⁻³	0
H + Al	cmolcdm ⁻³	1,8
Mat. Orgânica total	%	4,43
Tensão	Unidade	Umidade (%)
0,03	MPa	31,2
1,5	MPa	5,8
DTA		25,4

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo, UNESP, Botucatu - SP, 2017. DTA: Disponibilidade total de água

3.3. Determinação de umidade do solo

Em cada vaso foi colocado um cano de 50mm de diâmetro e 15cm de comprimento para monitoramento da umidade do solo durante todo o experimento. Esse monitoramento ocorreu por meio da sonda SM-200 (DELTA-T Devices, Cambridge - England), que avalia a umidade do solo em porcentagem.

Figura 2: Umidade de solo com dois acessos de pinha (*A. squamosa*) submetidas a estresse hídrico na época chuvosa (A) e época seca (B).



3.4. Avaliações fotossintéticas

Índice SPAD

Todas as medições da fotossíntese foram realizadas aos 100 dias após transplante das mudas para os vasos. As leituras foram feitas em dois pontos de cada lado da nervura central da folha, na face adaxial da quarta folha totalmente expandida a partir do ápice (folha +4), no período entre 9:30 h e 11:00 h. Estimando o teor de clorofila total (Figura 3) com um

clorofilômetro portátil SPAD-502 (Minolta Corporation, Ramsey, USA).

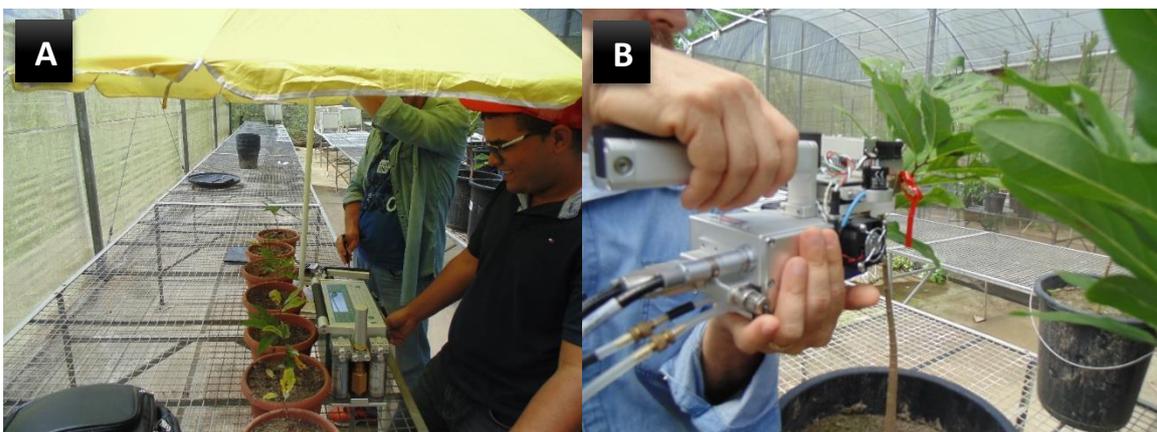
Figura 3: determinação da clorofila total usando o clorofilômetro portátil SPAD-502 na face abaxial da quarta folha totalmente expandida a partir do ápice em mudas de pinheira.



Trocas gasosas

As trocas gasosas, que inclui a condutância estomática (G_s), taxa de transpiração (E) e taxa de fotossíntese líquida (A), foram mensuradas utilizando um analisador de gases a infravermelho (IRGA) LI 6400XT (LI-COR, USA) (Figura 4). As medições foram feitas em concentração de CO_2 e umidade ambiente. A densidade de fluxo de fótons fotossintéticos no IRGA foi fixada em $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com uma fonte de luz artificial.

Figura 4: Calibração do analisador de gases por infravermelho (IRGA) LI 6400XT (LI-COR, USA) antes das avaliações (A); Medições das trocas gasosas em mudas de pinha (B)



Eficiência quântica do fotossistema II (PSII)

Para as medidas de eficiência potencial e efetiva do PSII foi utilizada a segunda folha totalmente expandida. A eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) foi medida às 4h da manhã e às 12h da tarde. As medidas foram realizadas com um fluorômetro portátil WALZ-PAM-2500 (Walz, Germany), que utiliza a medição de luz por modulação em amplitude de pulso, para promover o fechamento dos centros de reação do PSII (MAXWELL E JOHNSON 2000). Sendo a F_v/F_m mensurada após condicionamento das folhas ao escuro, com pinças de metal, durante 30 minutos. A eficiência quântica efetiva do PSII (Φ_{PSII}) foi medida logo após as medidas de F_v/F_m no horário 12h30min nas mesmas folhas sob luz ambiente.

Figura 5: Medições da eficiência quântica potencial do PSII na antemã após a adaptação das folhas ao escuro com o uso de pinças (A); Medições da eficiência quântica potencial e efetiva do PSII ao meio dia (B)



3.5.Determinação do potencial hídrico foliar

Os potenciais hídricos das folhas das plantas de pinheira foram medidos utilizando a bomba de pressão do tipo Scholander. A folha +3 (terceira folha totalmente expandida) foi coletada entre 5h e 6h da manhã, colocadas em sacos plásticos individuais, identificadas, acondicionadas em caixa térmica com gelo, para evitar desidratação, e imediatamente levadas para o laboratório de fisiologia vegetal, onde se procederam as análises.

Figura 6: Temperatura e Umidade relativa do ar (UR) (A); Radiação e Déficit de Pressão de Vapor (DPV) (B) Registrados no período de avaliação do experimento durante o inverno.

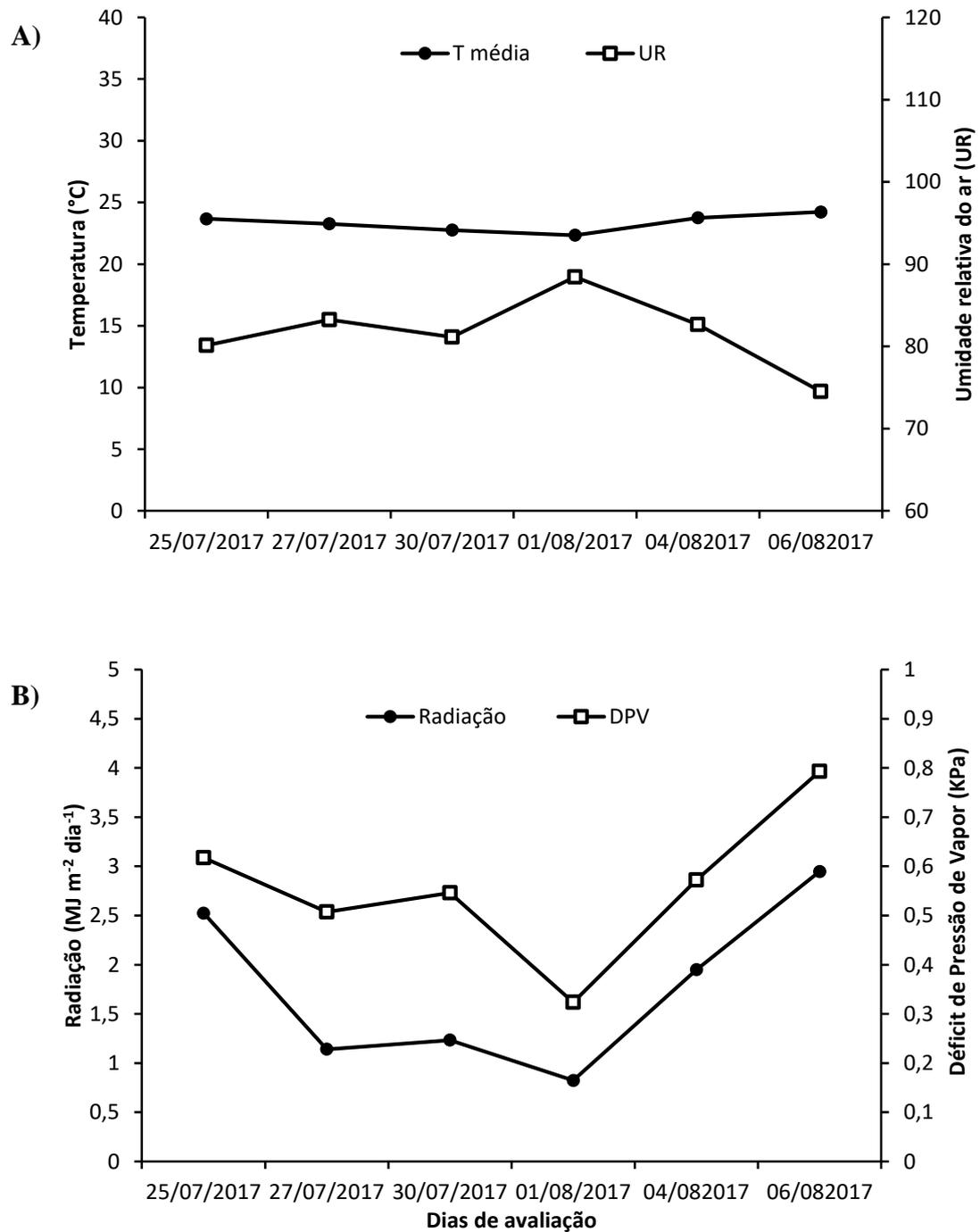
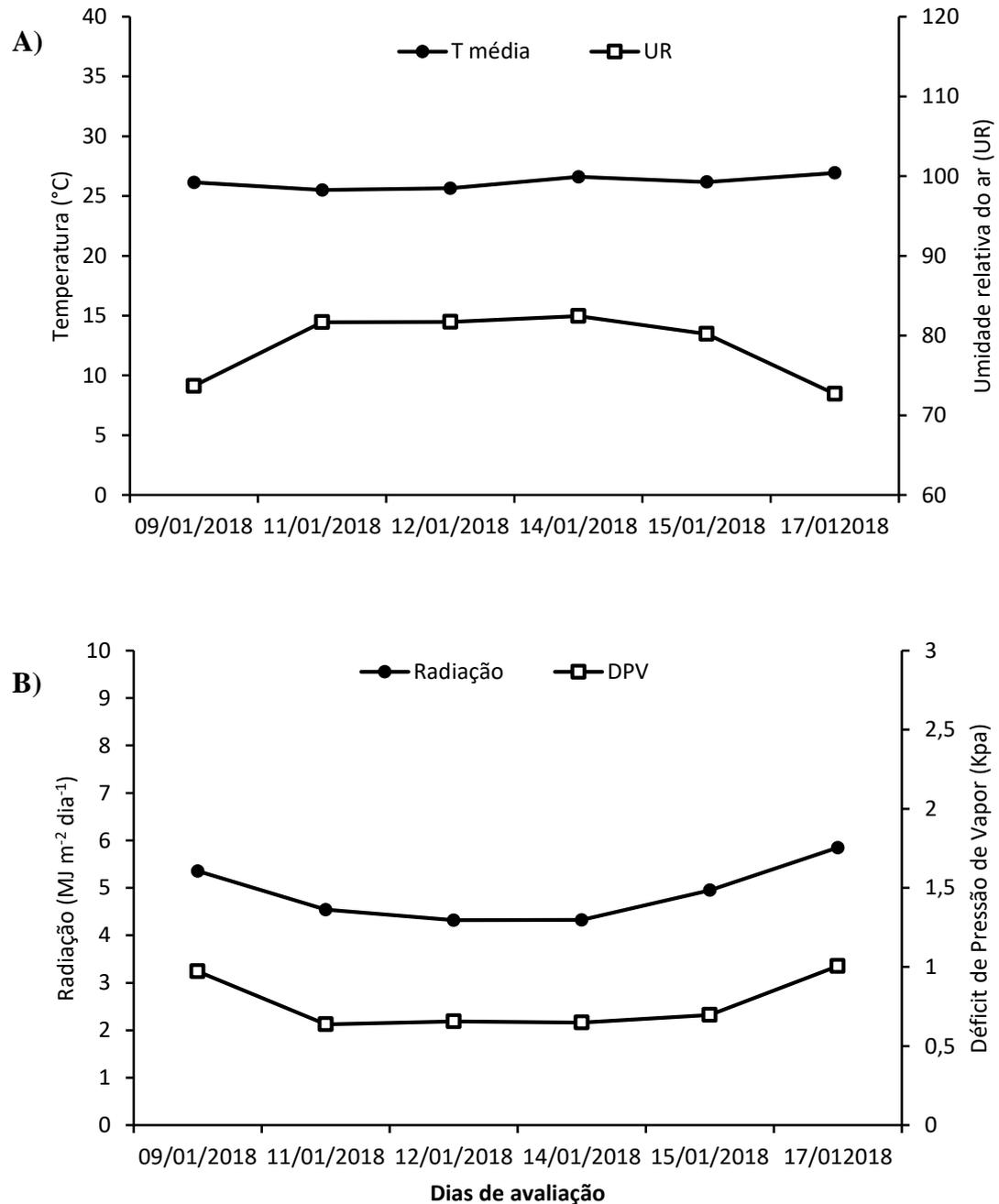


Figura 7: Temperatura e Umidade relativa do ar (UR) (A); Radiação e Déficit de Pressão de Vapor (DPV) (B) Registrados no período de avaliação do experimento durante o verão.



3.6. Delineamento experimental

O experimento foi organizado em desenho fatorial 4x2 (controle mais três níveis de

estresse e dois acessos) e estabelecidos em delineamento inteiramente casualizados com seis repetições e uma planta por parcela. As médias obtidas foram comparadas pelo teste Fisher's Least Significant Difference (LSD/Fisher) a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estresse no verão

As respostas ao déficit hídrico em plantas podem ser vistas de duas maneiras: resposta à longo prazo, onde a planta tem o padrão de crescimento, conteúdo químico e regulação ascendentes ou descendentes de genes alterados e resposta a curto prazo onde as chances de sobrevivência das plantas estão diretamente ligadas à sua velocidade de resposta ao estresse (BAJJI, 2000; SHAO, 2008). Neste estudo, as respostas ao estresse hídrico foram avaliadas à curto prazo, significando que uma resposta mais rápida à seca representa menos perda de água e mais chances de sobrevivência, sendo o fechamento estomático a primeira reação da planta a esta condição adversa, e como os estômatos são os poros responsáveis pelas trocas gasosas entre planta e atmosfera, então todos os resultados dos fatores como fotossíntese, condutância estomática, transpiração e potencial hídrico da folha se relacionaram em pelo menos algum nível.

Os dois acessos de pinheira se comportaram de forma bem parecidas em relação as trocas gasosas, em ambas houve um decréscimo impactante da taxa fotossintética líquida (A) (Figura 8A) durante a avaliação na época seca, verificando-se uma redução de 72,87% já no terceiro dia de restrição hídrica em comparação com as plantas do regime irrigado, sendo que aos 6 dias de estresse as plantas mantiveram a taxa fotossintética praticamente estável e durante o estresse máximo, observado aos 9 dias após a suspensão da irrigação, foi verificado outra queda acentuada da taxa fotossintética de 79,5% em comparação com aquela verificada aos 3 dias.

Em trabalho realizado com *A. squamosa* avaliando a taxa fotossintética em pleno sol, Flori et al. (2012) encontrou resultados inferiores aos observados neste trabalho para plantas sob irrigação e valores aproximados aos encontrados para plantas sob condições de estresse hídrico por três dias, sendo aproximadamente $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$.

Os resultados correspondentes à transpiração e condutância estomática obtiveram valores parecidos aos encontrados na taxa fotossintética, isso porque esses fatores estão intimamente relacionados. De acordo com Angelocci (2002), ao mesmo tempo em que as plantas perdem água na forma de vapor (transpiração) trocam dióxido de carbono e oxigênio com a atmosfera, sendo o CO₂ a fonte de carbono na fotossíntese. E com os estômatos fechados essa troca gasosa é reduzida (CHAVES E OLIVEIRA, 2004). A taxa transpiratória nas condições de regime irrigado foi mais elevada nas plantas cerosas, no entanto, nestas foi menor quando submetidas ao estresse máximo, corroborando com o que foi descrito por Taiz e Zeiger (2013), que o fechamento estomático pode não ser suficientes para evitar a transpiração em estresses mais severos, fazendo com que a transpiração cuticular se torne importante, reduzindo a perda de água pelo aumento do depósito de cera.

De acordo com Oliveira et al. (2011) a condutância estomática foliar é um mecanismo utilizado para controlar o grau de abertura dos estômatos, e pode ser utilizado como indicador de estresse hídrico. Os valores encontrados para a condutância estomáticas estão apresentados na Figura 8b. ambos acessos obtiveram 0,69 mol H₂O m⁻².s⁻¹ em regime irrigado e em estresse máximo o tratamento Verdinha (sem cera) apresentou resultados inferiores ao observado no acesso Crioula (com cera). No entanto, não houve, diferença significativa, mas pode ser um indicativo de que há maior resistência à escassez hídrica em plantas com deposição de cera mais espessa nas folhas. Endres (2007) afirma que entre os fatores que mais influenciam a variação da condutância estomática e transpiração são a idade fisiológica das folhas, a DPV e a hidratação das plantas.

A época em que ocorreu essa avaliação com alto índice de radiação associado a um aumento da DPV explica o baixo potencial hídrico nas folhas relacionado à taxa transpiratória, isso porque o vapor d'água transpirado tem a função de regular a temperatura interna da folha (ANGELOCCI, 2002), e de acordo com os dados meteorológicos as plantas estavam expostas à uma intensa radiação solar causando o aumento da carga radiante e conseqüentemente o aumento da temperatura à níveis intoleráveis para as plantas forçando a abertura estomática e a perda de água para atmosfera. Do Carmo Araújo (2009) explica que a luz desempenha um papel muito importante na regulação de muitas enzimas cloroplásticas e que quando essa luz incide em excesso, pode causar distúrbios nos processos envolvendo às atividades fotossintéticas. Então mesmo as plantas sem suspensão de rega obtiveram potencial hídrico das folhas baixos, apresentando valores de -1,32 Mpa e -1,22 Mpa para os acessos crioula e verdinha respectivamente. George (1988) avaliando plantas adultas de atemóia (*Annona cherimola* ×

Annona squamosa) constatou potencial hídrico foliar de até -1,0 MPa em plantas sob capacidade de campo.

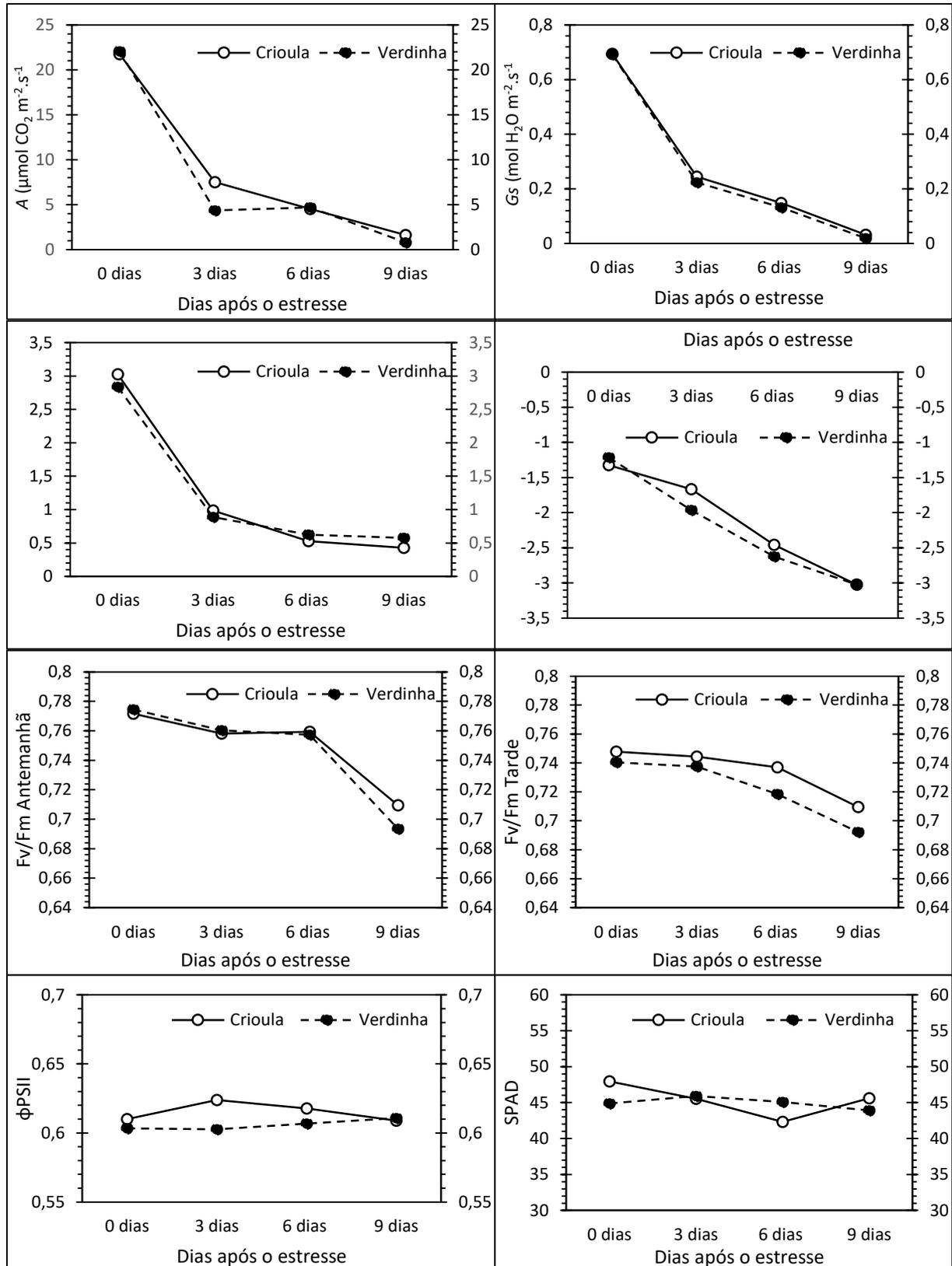
Endres (2007), avaliando a variação diária e sazonal da relação da água em pinheiras sob diferentes regimes de irrigação, observou valores máximos de potencial hídrico foliar no período seco de -2,90 MPa, valores semelhantes aos encontrados neste trabalho para mudas submetidas ao estresse máximo, que foi de -3,03 MPa em ambos acessos em umidade do solo próximo ao ponto de murcha. Esses valores também foram semelhantes aos encontrados por Cerqueira (2004) avaliando porta-enxerto de limoeiro cravo sob estresse hídrico por 12 dias.

O estresse máximo imposto às mudas de pinheira afetou a f_v/f_m na antemanhã, mantendo-se acima de 0,7 para a Crioula e abaixo para a Verdinha. Não houve queda acentuada na f_v/f_m até o sexto dia de estresse. Baker (1993) explica que em condições de estresse moderado a atividade potencial do fotossistema II não é prejudicado, no entanto, em condições de estresse mais severo, pode-se desencadear nas plantas um efeito fotoinibitório causado pelo decréscimo no rendimento quântico máximo do fotossistema II. A f_v/f_m avaliadas no período da tarde apresentou uma queda parecida com a observada na antemanhã, porém, o decréscimo foi mais uniforme e indicou valores menores para o tratamento Verdinha.

A eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Φ_{PSII}) não foi afetado em nenhum dos acessos de pinheira nos níveis de estresse estabelecidos.

O índice SPAD também não apresentou alterações que indicassem degradação do teor total de clorofila para as plantas sob condições de estresse.

Figura 8: Fotossíntese (A) (A); Condutância estomática (G_s) (B) Transpiração (C); Potencial hídrico foliar (D); Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã (E) e ao meio dia (F); Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕ_{PSII}) ao meio dia (G) e índice SPAD (H) em acessos de pinheira submetidas ao estresse hídrico no período seco.



Fonte: Autor, 2018.

Tabela 2: Médias de fotossíntese (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Condutância Estomática (G_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}$), Potencial Hídrico foliar - Ψ_w (MPa), Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã e ao meio dia, Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕPSII) ao meio dia e índice SPAD em acessos de pinheira submetidas ao estresse hídrico no verão. As letras maiúsculas comparam estatisticamente tratamentos acessos crioula e verdinha e letras minúsculas comparam o nível de estresse dentro do acesso. Médias com a mesma letra não diferem pelo teste LSD/Fisher ($p < 0,05$).

Dias sem irrigar	Crioula	Verdinha	Crioula	Verdinha
		A		G_s
0 dias	21,76 Aa	22,07 Aa	0,69 Aa	0,69 Aa
3 dias	7,52 Ab	4,37 Bb	0,24 Ab	0,22 Ab
6 dias	4,53 Ac	4,69 Ab	0,15 Ac	0,13 Ac
9 dias	1,63 Ad	0,80 Ac	0,03 Ad	0,02 Ad
	E		Ψ_w (MPa)	
0 dias	3,03 Aa	2,84 Aa	-1,32 Aa	-1,22 Aa
3 dias	0,99 Aa	0,89 Ab	-1,67 Aa	-1,96 Ab
6 dias	0,53 Ab	0,62 Ac	-2,46 Ab	-2,62 Ac
9 dias	0,43 Ac	0,58 Ad	-3,03 Ac	-3,03 Ad
	F_v/F_m Antemanhã		F_v/F_m Tarde	
0 dias	0,77 Aa	0,77 Aa	0,75 Aa	0,74 Aa
3 dias	0,76 Aa	0,76 Aa	0,74 Aa	0,74 Aa
6 dias	0,76 Aa	0,76 Aa	0,74 Aa	0,72 Bb
9 dias	0,71 Ab	0,69 Ab	0,71 Ab	0,69 Bc
	(ϕPSII)^{ns}		SPAD	
0 dias	0,61 Aa	0,60 Aa	47,97 Aa	44,87 Aa
3 dias	0,62 Aa	0,60 Aa	45,52 Aab	45,92 Aa
6 dias	0,62 Aa	0,61 Aa	42,33 Ab	45,08 Aa
9 dias	0,61 Aa	0,61 Aa	45,60 Aab	43,90 Aa

ns – não significativo pelo teste f para as variáveis acessos e níveis.

Não houve interação entre os fatores avaliados, e apesar do acesso de pinha Crioula apresentar uma certa vantagem sob condições de estresse em comparação à Verdinha, estatisticamente, os dois acessos obtiveram desempenho semelhante na maior parte das variáveis fisiológicas avaliadas, em todos os níveis de estresse. As maiores variações, no entanto, foram observadas entre os níveis de estresse dentro de cada acesso estudado.

Como resultados de reidratação, as plantas responderam muito bem à reposição de água, mesmo chegando a níveis críticos das alterações fisiológicas, sendo possível observar a capacidade das mudas de preservarem seu potencial vegetativo após um período de escassez hídrica.

Em relação a taxa fotossintética as mudas obtiveram maior recuperação nas plantas submetidas ao estresse máximo, sendo 1,63 e 0,80 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ elevando-se para 9,50 e 8,82 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para Crioula e Verdinha, respectivamente.

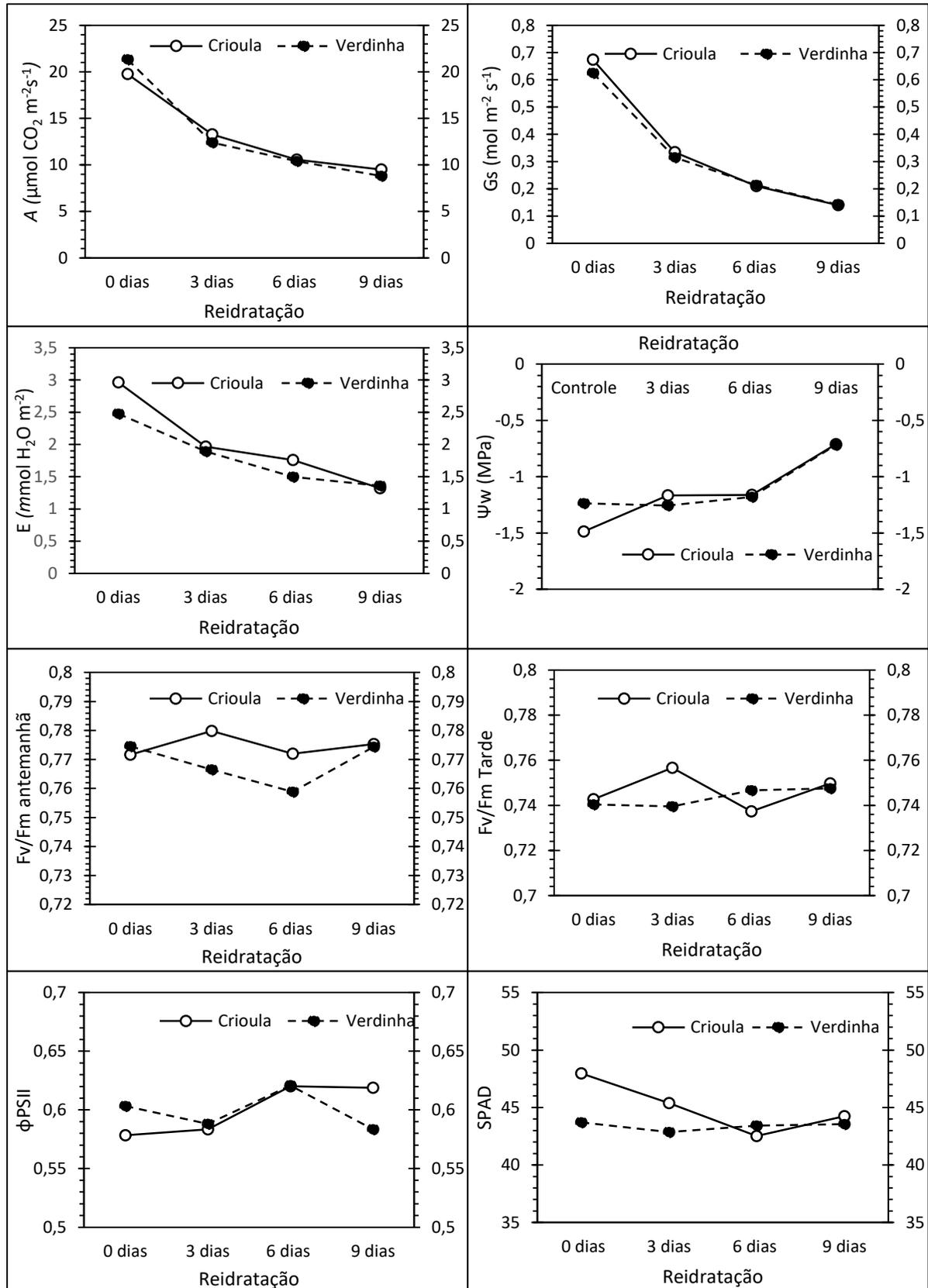
A taxa transpiratória e a condução estomática também aumentaram, porém, o tempo de recuperação não foi suficiente para que as plantas estressadas voltassem ao seu funcionamento normal. Durante a reidratação as plantas mais estressadas continuaram transpirando menos, provavelmente devido ao tempo necessário para ocorrer o ajuste osmótico, o que pode explicar o potencial hídrico foliar nas plantas sob estresse máximo, que foi de -3,03 MPa em ambos acessos para -0,71 e -0,72 MPa para Crioula e Verdinha, respectivamente, mantendo maior conteúdo de água nas folhas que as plantas sob regime irrigado. Cerqueira (2004) estudando resposta de porta-enxertos de citros em déficit hídrico, constatou que no limoeiro cravo, as plantas que foram estressadas e posteriormente reidratadas apresentaram uma recuperação mais rápida no potencial hídrico foliar que foi aos 3 dias em comparação com a transpiração que houve uma recuperação quantificável apenas aos 4 dias após a reidratação.

Em relação a eficiência quântica potencial do PSII foi possível observar que as mudas sob estresse máximo se recuperaram muito bem, obtendo valores de F_v/F_m acima de 0,75 na avaliação da antemanhã. No entanto, as mudas apresentaram fotoinibição dinâmica no período da tarde, para regime irrigado e estresse de 6 dias para a Crioula e regime irrigado e suspensão de água por 3 dias para a Verdinha.

Para eficiência quântica efetiva do PSII (ΦPSII), os acessos de pinheira apresentaram variações. Verificou-se que nos tratamentos com o acesso Crioula em regime irrigado e estresse leve obteve menores valores no período de reidratação. O mesmo aconteceu nos acessos Verdinha sob condições de estresses leve e máximo.

O índice SPAD mais uma vez não apresentou diferença entre os acessos e os níveis de estresse estudados, evidenciando que as alterações na intensidade da cor verde na folha não são alteradas em estresse a curto prazo. Silva (2014), estudando pigmentos fotossintéticos e índice SPAD em cana de açúcar submetidas ao estresse hídrico só constatou alteração no índice SPAD apenas nas plantas submetidas à 35 dias de estresse. Muitos autores afirmam que há maior sensibilidade no índice SPAD na identificação de deficiência de nitrogênio nas plantas (DE GIL, 2002; DE ALBUQUERQUE MARANHÃO 2009; SILVA, 2009; DE ARAÚJO, 2015).

Figura 9: Fotossíntese (A) (A); Condutância estomática (G_s) (B) Transpiração (E) (C); Potencial hídrico foliar (D); Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã (E) e ao meio dia (F); Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕ_{PSII}) ao meio dia (G) e índice SPAD (H) em acessos de pinheira após a reidratação por dois dias.



Fonte: Autor, 2018.

Tabela 3: Médias de fotossíntese (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Condutância Estomática (G_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}$), Potencial Hídrico foliar - Ψ_w (MPa), Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã e ao meio dia, Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕPSII) ao meio dia e índice SPAD em acessos de pinheira após o período de reidratação por dois dias no verão. As letras maiúsculas comparam estatisticamente tratamentos acessos crioula e verdinha e letras minúsculas comparam o nível de estresse dentro do acesso. Médias com a mesma letra não diferem pelo teste LSD/Fisher ($p < 0,05$).

Dias sem irrigar	Crioula	Verdinha	Crioula	Verdinha
		A		G_s
0 dias	19,76 Aa	21,32 Ba	0,67 Aa	0,62 Aa
3 dias	13,27 Ab	12,39 Ab	0,33 Ab	0,32 Ab
6 dias	10,55 Ac	10,40 Ac	0,21 Ac	0,21 Ac
9 dias	9,50 Ad	8,82 Ad	0,14 Ad	0,14 Ad
	E		Ψ_w (MPa)	
0 dias	2,96 Aa	2,47 Ba	-1,49 Bc	-1,24 Ab
3 dias	1,97 Ab	1,89 Ab	-1,17 Ab	-1,26 Bb
6 dias	1,76 Ab	1,50 Ac	-1,16 Ab	-1,18 Ab
9 dias	1,32 Ac	1,36 Ac	-0,71 Aa	-0,72 Aa
	F_v/F_m Antemanhã^{ns}		F_v/F_m Tarde^{ns}	
0 dias	0,77 Aa	0,77 Aa	0,74 Aa	0,74 Aa
3 dias	0,78 Aa	0,77 Aa	0,76 Aa	0,74 Aa
6 dias	0,77 Aa	0,78 Aa	0,74 Aa	0,75 Aa
9 dias	0,76 Aa	0,77 Aa	0,75 Aa	0,75 Aa
	(ϕPSII)^{ns}		SPAD	
0 dias	0,58 Aa	0,60 Aa	47,97 Aa	43,70 Ba
3 dias	0,58 Aa	0,59 Aa	45,38 Aab	42,87 Aa
6 dias	0,62 Aa	0,62 Aa	42,52 Ab	43,42 Aa
9 dias	0,62 Aa	0,58 Aa	44,23 Aab	43,55 Aa

ns – não significativo pelo teste f para as variáveis acessos e níveis.

Estresse hídrico no inverno

As avaliações feitas em período chuvoso mostram resultados bem diferentes aos encontrados em época seca. Isso porque as condições de clima retardaram o estresse hídrico devido à alta umidade relativa do ar, baixas temperaturas, baixa radiação e DPV.

Essas condições de ambiente favoreceram a taxa fotossintética. Para as plantas do tratamento controle houve um aumento de mais de 60% na taxa fotossintética das mudas avaliadas no inverno em comparação com aquelas analisadas em período seco. As plantas em estresse máximo no inverno, observados aos 15 dias de restrição hídrica, obtiveram taxa fotossintéticas superiores as observadas nas mudas avaliadas aos 3 dias após o estresse no verão,

esses valores também foram superiores aos obtidos durante a reidratação das mudas no período seco.

O mesmo comportamento fotossintético foi observado por Dan Tatagiba (2007) que avaliando o comportamento fisiológico em clones de eucalipto em época seca e chuvosa evidenciou maior taxa fotossintética nos clones avaliados em época chuvosa.

Apesar da alta taxa fotossintética encontradas durante o inverno, a condutância estomática apresentou valores inferiores aos observados no verão para as plantas sob regime irrigado.

As mudas avaliadas em época chuvosa apresentaram maior transpiração em relação as mudas da época seca, isso deve-se, provavelmente, ao fato de que a pinha é uma planta adaptada às condições de estresse hídrico, e em função das condições climáticas mais desfavoráveis no verão, com maior temperatura, radiação e DPV pode ter ativado seu mecanismo de defesa para evitar a desidratação. Outra explicação para esses valores é que as avaliações ocorreram entre 10h e 11h30min, podendo, neste período, a planta está sob déficit hídrico temporário, mesmo as que estavam sob regime irrigado. Diferente das avaliações no inverno, onde os valores de temperatura, radiação e DPV eram baixos durante todo o dia, descartando a possibilidade de haver déficit hídrico temporário.

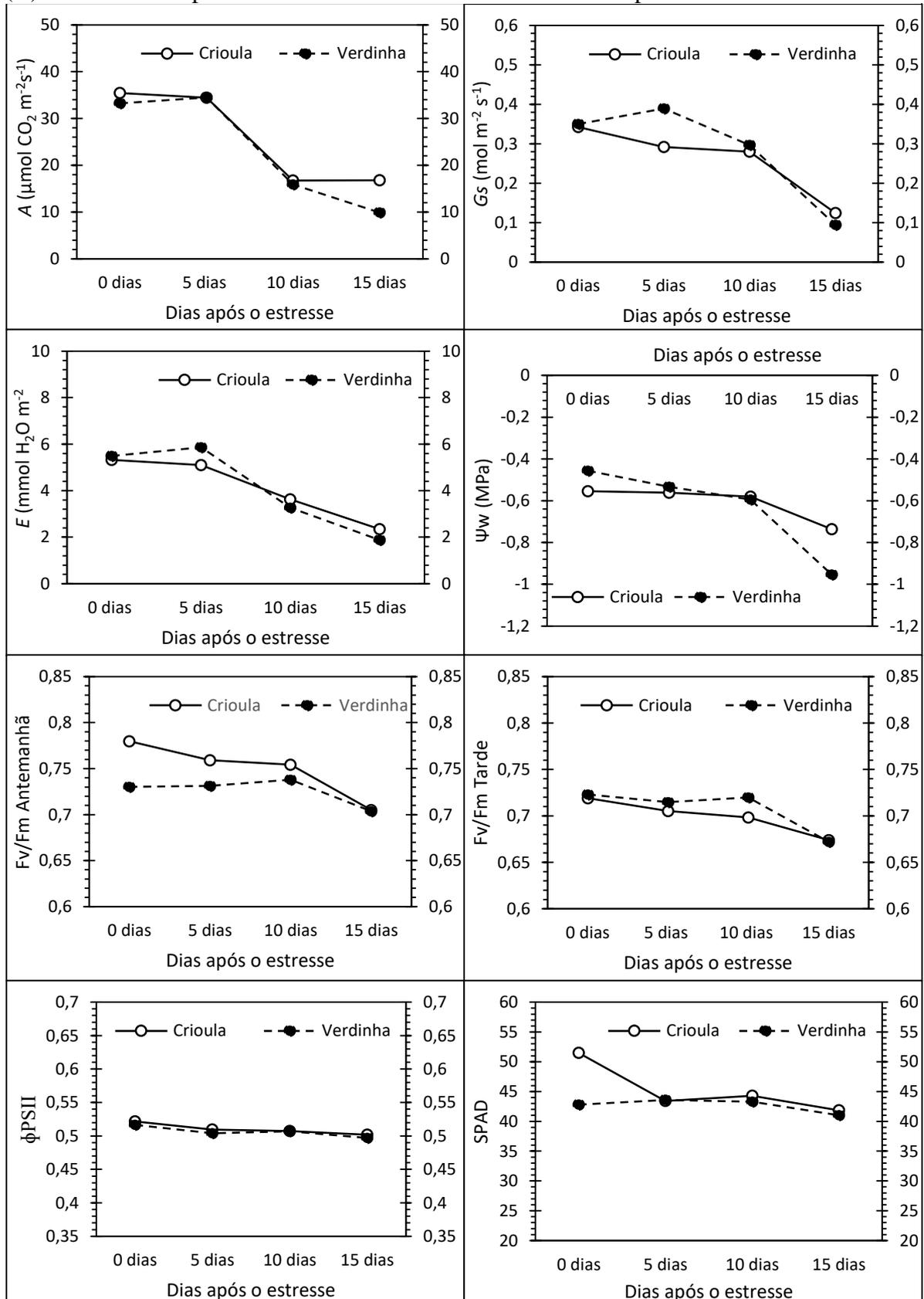
Dan Tagiba (2007) também constatou maior transpiração em clones de eucalipto avaliados em época chuvosa. Como esperado, o potencial hídrico foliar se manteve bem mais elevado nos dois acessos comparados aos verificados em época seca, em função das condições climáticas. Mesmo em estresse máximo de 15 dias, as mudas obtiveram maior potencial hídrico que as de regime irrigado no verão.

O potencial hídrico permaneceu semelhante até os 10 dias de restrição hídrica, e apresentou diferença significativa apenas em estresse máximo, havendo uma redução de -0,18 MPa no acesso crioula em comparação com o controle e -0,51 MPa para verdinha em relação ao seu controle. Houve diferença significativa também entre acessos, sendo que o tratamento Crioula manteve maior potencial hídrico em suas folhas.

Em relação a eficiência quântica potencial do PSII na antemanhã e durante a tarde, não houve alteração que indicasse danos no aparato fotossintético da planta em função do estresse hídrico.

Os valores de eficiência quântica efetiva e índice SPAD mais uma vez não foram sensíveis para identificar alterações nos níveis de estresse estudado.

Figura 10: Fotossíntese (A) (A); Condutância estomática (G_s) (B) Transpiração (C); Potencial hídrico foliar (D); Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã (E) e ao meio dia (F); Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕ_{PSII}) ao meio dia (G) e índice SPAD (H) em acessos de pinheira submetidas ao estresse hídrico em época chuvosa.



Fonte: Autor, 2018

Tabela 4: Médias de fotossíntese (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Condutância Estomática (G_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}$), Potencial Hídrico foliar - Ψ_w (MPa), Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemã e ao meio dia, Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕPSII) ao meio dia e índice SPAD em acessos de pinheira submetidas ao estresse hídrico em época chuvosa. As letras maiúsculas comparam estatisticamente tratamentos acessos crioula e verdinha e letras minúsculas comparam o nível de estresse dentro do acesso. Médias com a mesma letra não diferem pelo teste LSD/Fisher ($p < 0,05$).

Dias sem irrigar	Crioula	Verdinha	Crioula	Verdinha
		A		G_s
0 dias	35,44 Aa	33,21 Aa	0,34 Aa	0,35 Ab
5 dias	34,42 Aa	34,48 Aa	0,29 Ab	0,39 Ba
10 dias	16,73 Ab	15,93 Ab	0,28 Bb	0,30 Ac
15 dias	16,80 Ab	9,88 Bc	0,12 Ac	0,09 Bd
	E		Ψ_w (MPa)	
0 dias	5,32 Aa	5,49 Aa	-0,56 Ba	-0,46 Aa
5 dias	5,10 Ba	5,86 Aa	-0,56 Aa	-0,53 Aa
10 dias	3,63 Ab	3,27 Ab	-0,58 A a	-0,60 Aa
15 dias	2,34 Ac	1,88 Ac	-0,74 Ab	-0,95 Bb
	F_v/F_m Antemã		F_v/F_m Tarde^{ns}	
0 dias	0,78 Aa	0,73 Ba	0,72 Aa	0,72 Aa
5 dias	0,76 Aa	0,73 Aa	0,71 Aa	0,71 Aa
10 dias	0,75 Aa	0,74 Aa	0,70 Aa	0,72 Aa
15 dias	0,71 Ab	0,70 Aa	0,67 Aa	0,67 Aa
	(ϕPSII)^{ns}		SPAD^{ns}	
0 dias	0,52 Aa	0,52 Aa	51,47 Aa	42,80 Aa
5 dias	0,51 Aa	0,50 Aa	43,43 Aa	43,60 Aa
10 dias	0,51 Aa	0,51 Aa	44,28 Aa	43,28 Aa
15 dias	0,50 Aa	0,50 Aa	41,83 Aa	41,02 Aa

^{ns} – não significativo pelo teste f para as variáveis acessos e níveis.

Durante as avaliações realizadas no período de reidratação no inverno, foi possível notar uma queda acentuada da taxa fotossintética nos tratamentos controle e nas mudas submetidas ao estresse leve nos dois acessos. Essa baixa pode ser associada as condições de clima que sofreram maior alteração nos últimos dias de avaliação, que ocasionou uma queda considerável na umidade relativa do ar e um aumento proeminente na radiação e DPV, além de um leve aumento de temperatura. Caindo de uma taxa fotossintética acima de $30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para menos de $20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

A condutância estomática manteve-se próxima à observada durante o estabelecimento do estresse para as mudas de controle, estresse leve e moderado. As plantas submetidas ao

estresse máximo e reidratadas por dois dias elevaram os valores de condutância estomática de 0,12 e 0,09 mol m⁻² s⁻¹ para crioula e verdinha, respectivamente para 0,26 mol m⁻² s⁻¹ em ambos acessos.

Os dados de transpiração mostraram maior equilíbrio durante a reidratação, sendo registrado um aumento nos dois últimos níveis de estresse e uma leve queda para as mudas de regime irrigado e estresse leve.

Mesmo durante a reidratação o menor potencial hídrico foliar encontrado foi em níveis de estresse máximo de -0,66 e -0,70 MPa para os acessos crioula e verdinha, respectivamente.

Nogueira (2001), avaliando genótipos de gravioleira sob condições naturais de cultivo observou taxa transpiratória máxima de 8,03 mmol H₂O m⁻² e potencial hídrico foliar de -0,67 MPa.

Em trabalho realizado com plantas jovens de anona-branca (*Annona diversifolia* Saff), Otero-Sánchez (2005) relacionou o potencial hídrico às trocas gasosas na planta, e no tratamento com potencial hídrico da folha igual a -0,43 MPa apresentou condutância estomática de 0,19 mol m⁻² s⁻¹, taxa transpiratória de 2,36 mmol H₂O m⁻² e taxa fotossintética de 3,80 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹, valores bem inferiores ao encontrados neste trabalho em plantas com o mesmo potencial hídrico foliar.

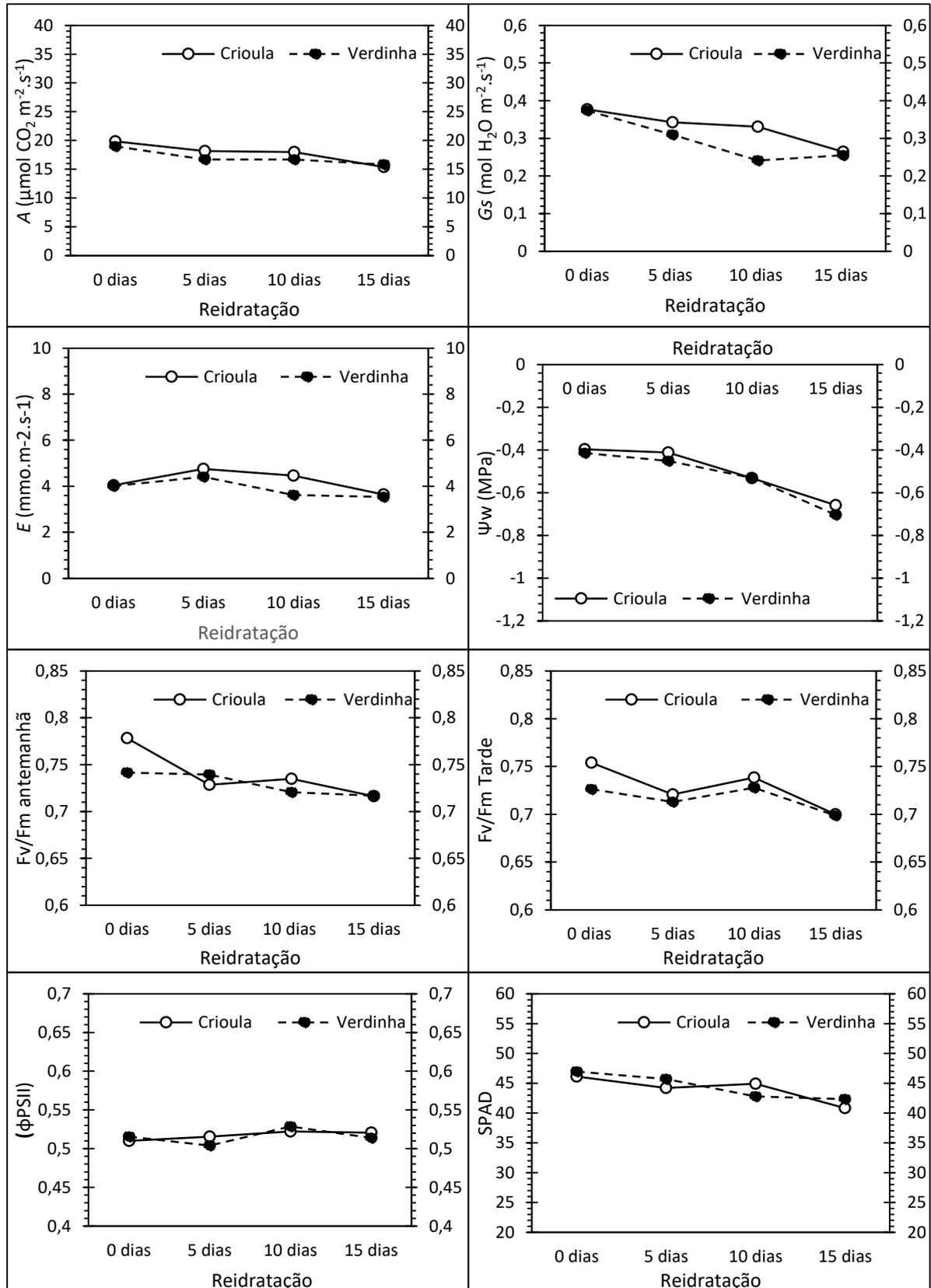
Os valores de Fv/Fm encontrados na antemanhã e durante a tarde foram semelhantes aos encontrados durante todo o trabalho, indicando que para pinha o valor normal pode estar entre 0,70 e 0,80. Diferente do que foi indicado por Bolhar-Nordenkampf et al. (1989) e Do Carmo Araújo (2009) onde afirmam que os valores entre 0,75 e 0,85 são o mínimo necessário para permanecer na faixa de plantas saudáveis e livres de estresse.

A eficiência efetiva do PSII (ϕPSII) não indicou variações entre os acessos e os níveis. E o índice SPAD se manteve com os valores entre 40 e 47 para todos os tratamentos.

Chiari Bertolli (2005) avaliou alterações fisiológica em espécie isohídrica pata-de-elfante por 54 dias em desidratação lenta e também não observou variação significativa para a eficiência efetiva do PSII (ϕPSII).

Ribeiro (2002) encontrou valores normais entre 0,45 e 0,65 para a eficiência quântica efetiva do PSII (ϕPSII) em laranjeira 'pera'.

Figura 11: Fotossíntese (A) (A); Condutância estomática (G_s) (B) Transpiração (C); Potencial hídrico foliar (D); Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã (E) e ao meio dia (F); Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕ_{PSII}) ao meio dia (G) e índice SPAD (H) em acessos de pinheira após a reidratação no inverno.



Fonte: Autor, 2018.

Tabela 5: Médias de fotossíntese (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), Condutância Estomática (G_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}$), Potencial Hídrico foliar - Ψ_w (MPa), Eficiência quântica potencial do PSII (f_v/f_m) na antemanhã e ao meio dia, Eficiência quântica efetiva do PSII (ϕPSII) ao meio dia e índice SPAD em acessos de pinheira submetidas ao estresse hídrico em época chuvosa e posterior reidratação. As letras maiúsculas comparam estatisticamente tratamentos acessos crioula e verdinha e letras minúsculas comparam o nível de estresse dentro do acesso. Médias com a mesma letra não diferem pelo teste LSD/Fisher ($p < 0,05$).

Reidratação após	Crioula	Verdinha	Crioula	Verdinha
		A		G_s
0 dias	19,85 Aa	18,97 Aa	0,38 Aa	0,37 Aa
5 dias	18,16 Aab	16,69 Aa	0,34 Aab	0,31 Ab
10 dias	17,99 Aab	16,68 Aa	0,33 Ab	0,24 Bc
15 dias	15,37 Ab	15,80 Aa	0,26 Ac	0,26 Ac
	E		Ψ_w (MPa)	
0 dias	4,04 Aab	4,01 Aab	-0,40 Aa	-0,41 Aa
5 dias	4,75 Aa	4,41 Aa	-0,41 Aa	-0,45 Aa
10 dias	4,47 Aa	3,62 Bab	-0,53 Aab	-0,53 Aa
15 dias	3,64 Ab	3,53 Ab	-0,66 Ab	-0,70 Ab
	F_v/F_m Antemanhã		F_v/F_m Tarde	
0 dias	0,78 Aa	0,74 Ba	0,75 Aa	0,73 Aa
5 dias	0,73 Bb	0,74 Aa	0,72 Aab	0,71 Aa
10 dias	0,73 Ab	0,72 Bb	0,74 Aab	0,73 Aa
15 dias	0,72 Ac	0,72 Ab	0,70 Ab	0,70 Aa
	(ϕPSII)		SPAD	
0 dias	0,51 Aa	0,52 Aa	46,13 Aa	46,97 Aa
5 dias	0,52 Aa	0,50 Ba	44,18 Aab	45,70 Aab
10 dias	0,52 Aa	0,53 Aa	44,90 Aa	42,78 Aa
15 dias	0,52 Aa	0,51 Aa	40,83 Ab	42,32 Aa

5. CONCLUSÕES

O acesso de pinheira Crioula apresentou maior deposição de cera nas folhas em comparação com o acesso Verdinha, mas não houve alterações fisiológicas que comprovasse maior adaptabilidade das primeiras em função da deposição de cera, sugerindo que as características de adaptação das pinheiras às condições de estresse hídrico sejam a nível celular.

As condições climáticas nas duas épocas de avaliação evidenciaram comportamentos fisiológicos diferenciados nas mudas de pinheira, que mesmo sendo uma planta tipicamente cultivada no semiárido apresentou maior desempenho fotossintético na época chuvosa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKINCI, Sener; LÖSEL, Dorothy M. **Plant Water-Stress Response Mechanisms**. Department of Biology, Faculty of Arts and Sciences, Marmara University, İstanbul, 2012.
- ANGELOCCI, Luiz Roberto. Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico. **Piracicaba: O autor**, 2002.
- AOYAMA, Elisa Mitsuko; MAZZONI-VIVEIROS, Solange C. Adaptações estruturais das plantas ao ambiente. **Instituto de Botânica (IBt). São Paulo, Brasil**, 2006.
- ASIF, M.; KAMRAN, A. Plant Breeding for Water-Limited Environments. **Crop Science**, v. 51, n. 6, p. 2911-2912, 2011.
- BAJJI, Mohammed; LUTTS, Stanley; KINET, Jean-Marie. Physiological changes after exposure to and recovery from polyethylene glycol-induced water deficit in callus cultures issued from durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars differing in drought resistance. **Journal of Plant Physiology**, v. 156, n. 1, p. 75-83, 2000.
- BAKER, Neil R. A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis. **Physiologia Plantarum**, v. 81, n. 4, p. 563-570, 1991.
- BARNABÁS, Beáta; JÄGER, Katalin; FEHÉR, Attila. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. **Plant, cell & environment**, v. 31, n. 1, p. 11-38, 2008.
- BARRETO, Artur Franco; BARBOSA, Johan Kely Alves. Mecanismos de resistência a seca que possibilitam a produção em condições de semiárido Nordeste. **3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água da Chuva do Semiárido**. Areia, PB, 2001.
- BELTRAO, NE de M. et al. Trocas gasosas e características fisiológicas em plantas de algodoeiro sob diferentes temperaturas. In: **Embrapa Algodão-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011, São Paulo. Evolução da cadeia para construção de um setor forte: Anais. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2011.
- BERNARDES, M. S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, p. 13-48, 1987.

BIANCHI, Leandro; GERMINO, Gabriel Henrique; DE ALMEIDA SILVA, Marcelo. Adaptação das Plantas ao Déficit Hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32. 2016.

BLUM, Abraham. **Plant breeding for stress environments**. CRC press, 2018.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H.R. et al. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v.3, p.497-514, 1989.

BRADFORD, K. J.; HSIAO, T. C. Physiological responses to moderate water stress. In: **Physiological plant ecology II**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1982. p. 263-324.

BRAY, Elizabeth. A. Update on water deficit. **Molecular responses to water deficit. Plant Physiology**. Bethesda. V. 103, p.1035-1040,1993.

BRODRIBB, Tim J.; HOLBROOK, N. Michele. Stomatal closure during leaf dehydration, correlation with other leaf physiological traits. **Plant Physiology**, v. 132, n. 4, p. 2166-2173, 2003.

BURROWS, F. J.; MILTHORPE, F. L. Stomatal conductance in the control of gas exchange. **Water deficits and plant growth**, v. 4, p. 103-152, 1976.

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

CASTRO, Paulo Roberto Camargo; KLUGE, Ricardo A.; PERES, Lázaro EP. **Manual de fisiologia vegetal: teoria e prática**. Ceres, 2005.

CERQUEIRA, Elaine Costa et al. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 3, p. 515-519, 2004.

CHAUMONT, François; TYERMAN, Stephen D. Aquaporins: highly regulated channels controlling plant water relations. **Plant physiology**, v. 164, n. 4, p. 1600-1618, 2014.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of experimental botany**, v. 55, n. 407, p. 2365-2384, 2004.

CHIARI BERTOLLI, SUZANA; DE SOUZA, Juliano; MAIA SOUZA, GUSTAVO. Caracterização fotossintética da espécie isohídrica pata-de-elefante em condições de deficiência

hídrica. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, 2015.

CORDEIRO, Maria Cristina Rocha et al. O cultivo da pinha, fruta-do-conde ou ata no Brasil. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2000.

COELHO, Eugênio Ferreira; OLIVEIRA, SL de; COSTA, EL da. **Irrigação da bananeira**. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2003.

CRUZ, Jailson Lopes et al. Produção e partição de matéria seca e abertura estomática do limoeiro'Cravo'submetido a estresse salino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 528-531, 2003.

DA SILVA OLIVEIRA, Alessandro et al. Perfil do sistema de produção de pinha nos polos de fruticultura da Bahia, com ênfase nos aspectos fitossanitários da cultura. **Extensão Rural**, v. 23, n. 2, p. 95-111, 2016.

DAN TATAGIBA, Sandro et al. Comportamento fisiológico de dois clones de Eucalyptus na época seca e chuvosa. **Cerne**, v. 13, n. 2, 2007.

DE ALBUQUERQUE MARANHÃO, Camila Maida et al. Produção e composição químico-bromatológica de duas cultivares de braquiária adubadas com nitrogênio e sua relação com o índice SPAD. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 31, n. 2, 2009.

DE ARAÚJO, Rubia Aparecida et al. Características biométricas, índice SPAD-502 e emissão da fluorescência em porta-enxertos de citros. **Ceres**, v. 51, n. 294, 2015.

DE GIL, Paula Torrealba et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Hortic. bras**, v. 20, n. 4, 2002.

DE SOUZA, Claudia Rita; SOARES, Ângela Maria; DE ALBUQUERQUE REGINA, Murillo. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001.

DIAS, Lúcia Borges. **Água nas Plantas**. Universidade Federal de Lavras, Monografia. 2008.

DIAS, Nilma Oliveira et al. The influence of pruning on branches of different diameter in the vegetative and reproductive growth of sugar apple (*Annona squamosa* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 100-103, 2003.

DO CARMO ARAÚJO, Saulo Alberto; DEMINICIS, Bruno Borges. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, 2009.

ENDRES, Lauricio. Daily and seasonal variation of water relationship in sugar apple (*Annona squamosa* L.) under different irrigation regimes at semi-arid Brazil. **Scientia horticultrae**, v. 113, n. 2, p. 149-154, 2007.

FERREIRA, Laura Dias. Resposta do feijoeiro irrigado sob diferentes tensões de água no solo. 2017.

GUIMARÃES, Tadeu Gracioli et al. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

GUREVITCH, Jessica; SCHEINER, Samuel M.; FOX, Gordon A. **Ecologia Vegetal-2**. Artmed Editora, 2009.

KAVATI, R. O cultivo da atemóia. In: DONADIO, L.C.; MARTINS, A.B.G.;

KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KIRKHAM, Mary Beth. **Principles of soil and plant water relations**. Academic Press, 2014.

LACERDA, C. F. Parte, I. Relações Solo-Água-Planta Em Ambientes Naturais E Agrícolas Do Nordeste Brasileiro. **Universidade Federal Rural de Pernambuco**. 2007.

LAMBERS, Hans; CHAPIN III, F. Stuart; PONS, Thijs L. Plant water relations. In: **Plant physiological ecology**. Springer New York, p. 163-223. 2008.

LARCHER, Walter. **Ecofisiologia Vegetal**. Editora **RiMa**, 2004.

LARCHER, Walter. **Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups**. Springer Science & Business Media, 2003.

LEMOS, Eurico. Eduardo. Pinto. A produção de anonáceas no Brasil. **V Congresso Internacional & Encontro Brasileiro sobre Annonaceae: do gene à exportação**. v. 36, edição especial, e., p. 077-085, janeiro 2014.

MAAS, Paul JM. Neotropical Annonaceae. 2010. Disponível em: <https://www.kew.org/science/tropamerica/neotropikey/families/Annonaceae.htm> Acesso em 25 de Janeiro de 2018.

MACHADO, Eduardo Caruso; LAGÔA, Ana Maria Magalhães Andrade. Trocas gasosas e condutância estomática em três espécies de gramíneas Gas exchanges and stomatal conductance on three gramineous species. **Bragantia**, v. 53, n. 2, p. 141-149, 1994.

MANICA, Ivo. et al. Frutas Anonáceas: Ata ou Pinha, Cherimólia e Graviola Tecnologia de produção, pós-colheita e mercado. Ed. **Continentes**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003.

MANICA, Ivo.; OLIVEIRA JUNIOR, Mauro E. Importância econômica. Frutas Anonáceas: Ata ou Pinha, Cherimólia e Graviola. Ed. **Continentes**. Cap. 1 pag. 09-22. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003.

MARQUES, JD de O. et al. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2008.

MAXWELL, Kate; JOHNSON, Giles N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MEINZER, Frederick C. et al. Stomatal kinetics and photosynthetic gas exchange along a continuum of isohydric to anisohydric regulation of plant water status. **Plant, cell & environment**, v. 40, n. 8, p. 1618-1628, 2017.

MEYER, Bernard Sandler; AMÂNCIO, Sara. **Introdução à fisiologia vegetal**. 1983.

MICKELBART, Michael V.; HASEGAWA, Paul M.; BAILEY-SERRES, Julia. Genetic mechanisms of abiotic stress tolerance that translate to crop yield stability. **Nature Reviews Genetics**, v. 16, n. 4, p. 237, 2015.

MINOLTA, C. Manual for chlorophyll meter SPAD-502. **Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions**, 1989.

MUNNS, Rana. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, cell & environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

NASCIMENTO, SP do. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 2009. 95 f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Agronomia) -Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2009.

NEVES, Orlando Sílvio Caires et al. Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 40, n. 5, p. 517-521, 2005.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, RC dos. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 41-45, 2000. p.39 -70.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA JUNIOR, J. F. Resistência estomática, tensão de água no xilema e teor de clorofila em genótipos de gravioleira. **Scientia agrícola**, v. 58, n. 3, p. 491-495, 2001.

OLIVEIRA, VJ dos S. et al. Avaliação de condutância estomática e temperatura foliar em variedades de mamão submetidas a déficit hídrico. In: **Embrapa Mandioca e Fruticultura- Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO, 5., 2011, Porto Seguro. Inovação e sustentabilidade: anais. Porto Seguro: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2011. 1 CD-ROM.

OTERO-SÁNCHEZ, M. A. et al. Crecimiento, relaciones hídricas e intercambio gaseoso de plantas jóvenes de ilama (*Annona diversifolia* Saff.) en condiciones de estrés hídrico. **REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA**, v. 11, n. 1, p. 59-65, 2005.

PASSIOURA, J. B. Water in the soil-plant-atmosphere continuum. In: **Physiological plant ecology II**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 5-33. 1982.

PAULINO-NETO, HIPÓLITO FERREIRA. Polinização e biologia reprodutiva de araticum-liso (*Annona coriacea* Mart: Annonaceae) em uma área de cerrado paulista: implicações para fruticultura. In: **V Congresso Internacional & Encontro Brasileiro sobre Annonaceae: do gene à exportação**. Botucatu: UNESP. 2014. p. 132-140.

PIMENTA, J. A. Relações hídricas. **Rio de Janeiro: Guanabara Koogan**, p. 1-39, 2004.

PIMENTEL, Carlos. A relação da planta com a água. **Seropédica: Edur**, 2004.

QUEIROZ, Cristina GS; GARCIA, Queila S.; LEMOS FILHO, José Pires. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação. **Braz. j. plant physiol**, v. 14, n. 1, p. 59-63, 2002.

REBOUÇAS, Aldo. **Uso inteligente da água**. Escrituras Editora e Distribuidora de Livros Ltda., 2015.

RIBEIRO, Generosa Sousa **Aspectos da biologia floral relacionados à produção de sementes e frutos de pinha (*Annona squamosa* L.)**. Vitória da Conquista – BA: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2006. 67p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia). 2006.

RIBEIRO, Rafael Vasconcelos et al. Influência da temperatura na fotossíntese de laranjeira 'pera' com clorose variegada dos citros. **Influência da temperatura na fotossíntese de laranjeira'Pêra' com clorose variegada dos citros**, 2002.

SANTOS, Reginal Ferreira; CARLESSO, Reimar. Déficit Hídrico e os Processos Morfológico e Fisiológico das Plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v2, n3, p.287-294, Campina Grande, PB, 1998.

SÃO JOSÉ, Abel Rebouças et al. Actuality and perspectives of Annonaceous in the world. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. SPE1, p. 86-93, 2014.

SHAO, Hong-Bo et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes rendus biologiques**, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008.

SILVA, EP da. Caracterização do desenvolvimento de frutos do Cerrado: marolo (*Annona crassiflora* Mart.) e gabiroba (*Campomanesia pubescens*). 2009.

SILVA, Marcelo CC; FONTES, Paulo CR; MIRANDA, Glauco V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 17-22, 2009.

SILVA, Marcelo de Almeida et al. Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, p. 173-181, 2014.

SINCLAIR, T. R.; ZWIENIECKI, M. A.; HOLBROOK, N. M. Low leaf hydraulic conductance associated with drought tolerance in soybean. **Physiologia Plantarum** Volume 132, Edição 4, páginas 446-451, Abril de 2008.

SOARES DE MELO, Alberto et al. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta**

Scientiarum. Agronomy, v. 32, n. 1, 2010.

SOBRINHO, R. B. Potencial de exploração de anonáceas no nordeste do Brasil. **Forlaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, 2010.

SPERRY, John S. Hydraulic constraints on plant gas exchange. **Agricultural and forest meteorology**, v. 104, n. 1, p. 13-23, 2000.

SWIADER, John M.; MOORE, Ame. SPAD-chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumpkins. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 5, p. 1089-1100, 2002.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

VALENTE, J.P., ed. **Fruticultura tropical**. Jaboticabal: FUNEP/FCAV/UNESP, 1992.

VENKATESWARLU, B. **Abiotic Stress In Plants–Mechanisms And Adaptations**. 2011.

VESALA, Timo et al. Effect of leaf water potential on internal humidity and CO₂ dissolution: reverse transpiration and improved water use efficiency under negative pressure. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 54, 2017.

VIEIRA, Elvis Lima et al. **Manual de fisiologia vegetal**. edufma, 2010.

WEIS, Engelbert; BERRY, Joseph A. Quantum efficiency of photosystem II in relation to ‘energy’-dependent quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v. 894, n. 2, p. 198-208, 1987.

ZUCARELI, Valdir et al. Luz e Temperatura na Germinação de Sementes de *Annona squamosa* L. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. S2, p. pg. 840-842, 2008.