



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

LUCIANA LUZIA PINHO

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Anadenanthera colubrina* SOB
DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO E SALINIDADE DA ÁGUA DE
IRRIGAÇÃO**

FORTALEZA

2021

LUCIANA LUZIA PINHO

DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Anadenanthera colubrina* SOB
DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO E SALINIDADE DA ÁGUA DE
IRRIGAÇÃO

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

Coorientador: Dr. João Alencar de Sousa

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P723d Pinho, Luciana Luzia.

Desenvolvimento inicial de mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação / Luciana Luzia Pinho. – 2021.
85 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

Coorientação: Prof. Dr. João Alencar de Sousa.

1. Angico Branco. 2. Intensidade luminosa. 3. Estresse salino. 4. Semiárido. I. Título.

CDD 630

LUCIANA LUZIA PINHO

DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MUDAS DE *Anadenanthera colubrina* SOB
DIFERENTES NÍVEIS DE SOMBREAMENTO E SALINIDADE DA ÁGUA DE
IRRIGAÇÃO

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 30/06/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. João Alencar de Sousa (Coorientador)
Embrapa Agroindústria Tropical

Dr. Alisson Moura Santos
Embrapa Florestas

Prof. Dr. Antônio Marcos Esmeraldo Bezerra
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Eduardo Santos Cavalcante
Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Trabalho (SEDET/UFC)

A Deus.

Aos meus pais Maria Jaci Pinho e Luiz Gomes
de Pinho por todo amor, apoio e incentivo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus todo poderoso e sua mãe Maria Santíssima, por sempre me proteger, me dar forças e me guiar pelos caminhos certos.

Aos meus pais Maria Jaci Pinho e Luiz Gomes de Pinho por todo o amor, apoio e incentivo para que eu pudesse realizar todos os meus objetivos. Vocês abdicaram seus sonhos para que eu pudesse realizar os meus. Obrigada por me ensinarem o valor do saber, essa conquista é de vocês.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização deste curso, assim como todo o corpo docente pela valiosa contribuição no meu desenvolvimento profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

À Embrapa Agroindústria Tropical por todo o suporte logístico, de veículos e de funcionários que viabilizou a condução desta pesquisa.

À Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) pelo suporte financeiro.

Ao meu orientador Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda pela orientação, dedicação, paciência e conhecimento compartilhado. Agradeço a oportunidade trabalhar ao seu lado.

Ao meu coorientador Dr. João Alencar de Sousa pela paciência, gentileza e por toda a contribuição que deu para a realização deste trabalho.

Ao Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) nas pessoas do Dr. Marcos Esmeraldo Bezerra e Laila Sabrina Queiroz por conceder a estrutura e todo o suporte para a montagem e condução do experimento, e também aos funcionários Márcio e Ramon por toda ajuda durante o período experimental.

Aos participantes da banca examinadora por todas as valiosas contribuições para o enriquecimento deste trabalho.

À equipe do Laboratório de Relações Solo-Água-Planta por toda a assistência na condução do experimento e no desenvolvimento deste trabalho.

À Leila Neves por tudo o suporte que me deu ao final do experimento.

A todos os amigos que fiz durante essa época de mestrado, em especial ao Juvenaldo Canjá, Adriana Cruz, Eduardo Cavalcante, Jonnathan Richeds, Beatriz Abreu, Mádilo Passos, Júnior Barroso, Carlos Galo, Mardones Sérvulo, Gilbenes Bezerra, Hugo

Graciano e Naara Iorrana que além do convívio profissional proporcionaram bons momentos que sempre levarei em minha memória.

Aos meus amigos de graduação Valber Wesley e Marta Moraes, que mesmo após o término do curso continuaram mantendo contato e me auxiliando em todas as vezes em que precisei.

Ao meu namorado Robison Rodrigues de Sousa por todo o suporte oferecido desde a minha graduação na minha trajetória pessoal e profissional, cujo companheirismo, apoio e incentivo sempre me deram forças pra continuar.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa, o meu muito obrigada!

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”

(Simone de Beauvoir)

RESUMO

O bioma Caatinga apresenta uma ampla variedade de espécies vegetais importantes para a Região Nordeste. No entanto, essa vegetação é uma das menos conhecidas do país e está entre os ecossistemas brasileiros mais ameaçados, em função da intensa exploração de seus recursos associada à falta de informações que possibilitam a sua disseminação. O Semiárido Brasileiro é uma região que apresenta condições hidrogeológicas desfavoráveis ao desenvolvimento da maioria das espécies vegetais. As espécies nativas desse bioma são constantemente submetidas a estresses abióticos, dentre eles o estresse térmico, hídrico e salino. Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desenvolvimento de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Angico-branco) sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação. A pesquisa foi conduzida no Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU), pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições, totalizando 80 unidades experimentais. As parcelas foram formadas por quatro ambientes com diferentes níveis de intensidade luminosa: 0% (pleno sol), 30%, 50% e 70% de sombreamento e as subparcelas formadas por cinco níveis crescentes de salinidade da água de irrigação: 0,4, 1,6, 2,8, 4,0 e 5,2 dS.m⁻¹. Foram avaliadas as seguintes variáveis: salinidade do solo, altura de plantas, diâmetro do caule, número de folhas, trocas gasosas, produção de biomassa e índice de qualidade de Dickson. A salinidade do solo aumentou quando realizada irrigação com águas de condutividade elétrica elevada, sendo a concentração de sais acentuada nos ambientes com menores níveis de sombreamento. Observou-se que a combinação dos fatores salinidade e radiação solar afetaram o desenvolvimento inicial das mudas de Angico. Os parâmetros biométricos, produção de biomassa, trocas gasosas e índice de qualidade de Dickson foram comprometidos pelo aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, sendo esse estresse acentuado quando as mudas estavam sob condições de pleno sol. Entretanto, o uso do sombreamento artificial favoreceu o desenvolvimento das mudas mesmo quando irrigadas com água de maior salinidade.

Palavras-chave: Angico-branco; intensidade luminosa; estresse salino; semiárido.

ABSTRACT

The Caatinga biome presents a wide variety of important plant species for the Northeast Region. However, this vegetation is one of the least known in the country and is among the most threatened Brazilian ecosystems, due to the intense exploitation of its resources associated with the lack of information that allows its dissemination. The Brazilian Semiarid is a region that presents unfavorable hydrogeological conditions for the development of most plant species. The native species of this biome are constantly subjected to abiotic stresses, including thermal, water and saline stress. Given the above, this research aims to evaluate the development of *Anadenanthera colubrina* (Angico-branco) seedlings under different levels of shading and salinity of the irrigation water. The research was conducted at the Center for Teaching and Research in Urban Agriculture (NEPAU), belonging to the Department of Plant Science at the Federal University of Ceará (UFC). The experimental design used was in randomized blocks in a split-plot scheme with four replications, totaling 80 experimental units. The plots were formed by four environments with different levels of light intensity: 0% (full sun), 30%, 50% and 70% of retention of solar radiation flux and the subplots formed by five increasing levels of salinity of the irrigation water : 0.4, 1.6, 2.8, 4.0 and 5.2 dS.m⁻¹. The following variables were evaluated: soil salinity, plant height, stem diameter, number of leaves, gas exchange, biomass production and Dickson quality index. Soil salinity increased when irrigation with waters with high electrical conductivity was performed, and the concentration of salts was accentuated in environments with lower levels of shading. It was observed that the combination of salinity and solar radiation factors affected the initial development of Angico seedlings. Biometric parameters, biomass production, gas exchange and Dickson quality index were compromised by the increase in the electrical conductivity of the irrigation water, this stress being accentuated when the seedlings were under full sun conditions. However, the use of artificial shading favored the development of seedlings even when irrigated with higher salinity water.

Keywords: Angico-branco; light intensity; saline stress; semiarid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Mapa de localização da área experimental	30
Figura 2	– Vista parcial dos ambientes utilizados para a condução do experimento	31
Figura 3	– Vista parcial do ambiente a pleno sol	31
Figura 4	– Dados diários de temperature média, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica durante o período de condução do experimento	32
Figura 5	– Valores médios diários referentes à radiação solar (W/m^2) durante a condução do experimento	33
Figura 6	– Semeadura (A) e germinação das sementes de <i>Anadenanthera colubrina</i> (B).....	34
Figura 7	– Layout da área experimental	35
Figura 8	– Disposição dos vasos nos ambientes de estudo (A) e após a repicagem das mudas (B)	36
Figura 9	– Preparo do extrato solo:água (A) e determinação da condutividade elétrica do solo (B)	38
Figura 10	– Avaliação das trocas gasosas das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i>	39
Figura 11	– Detalhe das folhas (A) e do sistema radicular (B) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> durante a coleta	40
Figura 12	– Condutividade elétrica do solo (extrato 1:1 solo água) cultivado com mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	43
Figura 13	– Efeito das maiores concentrações de sais sob as mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> que estavam em ambiente a pleno sol (A – concentração de 4,0 $dS.m^{-1}$; B – concentração de 5,2 $dS.m^{-1}$)	44
Figura 14	– Altura das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	46

Figura 15 – Aspectos gerais do crescimento das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento (pleno sol, 30%, 50% e 70%) e salinidade da água de irrigação (S1- 0,4 dS.m ⁻¹ , S2- 1,6 dS.m ⁻¹ , S3- 2,8 dS.m ⁻¹ , S4- 4,0 dS.m ⁻¹ e S5- 5,2 dS.m ⁻¹) aos 30 dias após o início da aplicação dos tratamentos salinos	46
Figura 16 – Diâmetro do caule das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)	49
Figura 17 – Número de folhas das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	50
Figura 18 – Temperatura foliar (<i>TF</i>) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)	53
Figura 19 – Condutância estomática (<i>gs</i>) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)	54
Figura 20 – Taxas de fotossíntese líquida (<i>A</i>) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	56
Figura 21 – Taxas de transpiração (<i>E</i>) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)	58
Figura 22 – Concentração interna de CO ₂ (<i>C_i</i>) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)	59
Figura 23 – Eficiência momentânea do uso da água (<i>A.E⁻¹</i>) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento	60

Figura 24 – Eficiência intrínseca do uso da água ($A.g_s^{-1}$) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)	62
Figura 25 – Eficiência de carboxilação ($A.C_i^{-1}$) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	63
Figura 26 – Biomassa seca de folhas (BSF) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)	66
Figura 27 – Biomassa seca do caule (BSC) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	67
Figura 28 – Biomassa seca da raiz (BSR) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	69
Figura 29 – Biomassa seca da parte aérea (BSPA) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	70
Figura 30 – Biomassa seca total (BST) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	71
Figura 31 – Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volume total de água consumido (média ± erro padrão) pelas mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> estimado ao final do experimento	37
Tabela 2 – Resumo da análise de variância referente aos dados de condutividade elétrica do solo (CE _{1:1}) cultivado com mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	42
Tabela 3 – Resumo das análises de variância referentes aos dados de altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) de mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	45
Tabela 4 – Resumo das análises de variância referentes aos dados de temperatura foliar (TF), condutância estomática (gs), fotossíntese (A), transpiração (E), concentração interna de CO ₂ (Ci), eficiência momentânea do uso da água (A.E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g _s) e eficiência intrínseca de carboxilação (A/Ci) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	52
Tabela 5 – Resumo das análises de variância referentes aos dados de biomassa seca de folhas (BSF), de caules (BSC), de raízes (BSR), da parte aérea (BSPA) e total (BST) das mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	65
Tabela 6 – Resumo da análise de variância referente aos dados do índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de <i>Anadenanthera colubrina</i> sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Fotossíntese Líquida
A.Ci ⁻¹	Eficiência de Carboxilação
A.E ⁻¹	Eficiência Momentânea do Uso da Água
A.gs ⁻¹	Eficiência Intrínseca do Uso da Água
AP	Altura de Plantas
BSC	Biomassa Seca do Caule
BSF	Biomassa Seca de Folhas
BSPA	Biomassa Seca da Parte Aérea
BSR	Biomassa Seca da Raiz
BST	Biomassa Seca Total
CEa	Condutividade Elétrica da Água
CE _{1:1}	Condutividade Elétrica do Solo
Ci	Concentração Interna de CO ₂
DC	Diâmetro do Caule
DPV	Déficit de Pressão de Vapor
E	Transpiração
gs	Condutância Estomática
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQD	Índice de Qualidade de Dickson
NEPAU	Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana
NF	Número de Folhas
RNSA	Reserva Natural Serra das Almas
TF	Temperatura Foliar
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	HIPÓTESE	20
3	OBJETIVOS	20
3.1	Objetivo Geral	20
3.2	Objetivos Específicos	20
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1	O Bioma Caatinga	21
4.2	Caracterização da espécie em estudo	22
4.3	Efeito do estresse salino nas plantas	24
4.4	Efeitos do excesso de radiação solar sobre as plantas	26
4.5	Mecanismos de tolerância das plantas ao estresse salino e excesso de radiação	27
5	MATERIAL E MÉTODOS	30
5.1	Localização da área experimental	30
5.2	Caracterização da área experimental	31
5.3	Produção de mudas	33
5.4	Delineamento experimental e tratamentos	34
5.5	Instalação e condução do experimento	35
5.6	Variáveis analisadas	37
5.6.1	<i>Salinidade do solo</i>	37
5.6.2	<i>Variáveis biométricas</i>	38
5.6.2.1	<i>Altura das plantas</i>	38
5.6.2.2	<i>Diâmetro do caule</i>	38
5.6.2.3	<i>Número de folhas</i>	39
5.6.3	<i>Trocas gasosas</i>	39
5.6.4	<i>Produção de biomassa</i>	40
5.6.5	<i>Índice de qualidade de Dickson (IQD)</i>	40
5.7	Análise Estatística	41
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
6.1	Salinidade do solo	42
6.2	Variáveis Biométricas	44

6.2.1	<i>Altura de plantas</i>	45
6.2.2	<i>Diâmetro do caule</i>	48
6.2.3	<i>Número de folhas</i>	50
6.3	Trocas Gasosas	52
6.3.1	<i>Temperatura foliar (TF)</i>	52
6.3.2	<i>Condutância estomática (gs)</i>	54
6.3.3	<i>Fotossíntese (A)</i>	55
6.3.3	<i>Transpiração (E)</i>	57
6.3.5	<i>Concentração interna de CO₂ (Ci)</i>	59
6.3.6	<i>Eficiência momentânea do uso da água (A.E⁻¹)</i>	60
6.3.7	<i>Eficiência intrínseca do uso da água (A.gs⁻¹)</i>	61
6.3.8	<i>Eficiência de carboxilação (A.Ci⁻¹)</i>	63
6.4	Produção de Biomassa	64
6.4.1	<i>Biomassa seca de folhas</i>	65
6.4.2	<i>Biomassa seca do caule</i>	66
6.4.3	<i>Biomassa seca da raiz</i>	68
6.4.4	<i>Biomassa seca da parte aérea</i>	70
6.4.5	<i>Biomassa seca total</i>	71
6.5	Índice de Qualidade de Dickson (IQD)	72
7	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A região semiárida do Nordeste compreende um dos principais ecossistemas brasileiros, o qual se destaca dentre os mais ameaçados de extinção: a Caatinga. Por concentrar a maior parte da população rural do país e pelo elevado índice de pobreza, a queima da madeira da vegetação nativa se torna uma das principais fontes de renda da região (BAPTISTA; CAMPOS, 2017). Conseqüentemente, grandes áreas estão sendo ameaçadas devido à perturbação ocasionada pela frequente interferência antrópica (SANTOS *et al.*, 2014). Contudo, além da exploração decorrente da ação antrópica, a vegetação deste bioma também enfrenta condições desfavoráveis ao seu desenvolvimento devido à influência dos fatores ambientais característicos da região (LIMA *et al.*, 2018a).

Os estresses abióticos são fatores determinantes para o crescimento e a produtividade das plantas, tanto nativas quanto os cultivos agrícolas. Ao longo do seu ciclo de vida, as plantas são expostas a uma gama de pressões ambientais, onde podem passar por situações prejudiciais ao seu desenvolvimento, como seca, salinidade, altas ou baixas temperaturas, alta intensidade de luz, dentre outros (SUZUKI *et al.*, 2014).

A salinidade se destaca como um dos estresses abióticos que mais limita o desenvolvimento das espécies vegetais (MATIAS *et al.*, 2018). Em regiões áridas e semiáridas o processo de salinização é acentuado devido às suas características climáticas, onde a má distribuição das chuvas associada às elevadas taxas de evaporação contribuem para a redução da disponibilidade hídrica, favorecendo o acúmulo de sais no solo e nos corpos d'água (WALTER *et al.*, 2018).

A escassez de água de boa qualidade nessas regiões e a crescente expansão de áreas agrícolas tem levado ao aumento na utilização de águas salobras para irrigação (EL-HENDAWY *et al.*, 2017). Porém, a utilização dessas águas de forma inadequada pode acarretar problemas de salinização e sodificação do solo, tornando essas áreas impróprias para o cultivo. A irrigação com águas salobras pode se tornar uma alternativa viável na produção de mudas de espécies nativas, especialmente em regiões de escassez como é o caso do Semiárido Brasileiro, desde que sejam adotadas técnicas adequadas de manejo, possibilitando desenvolver ações que reduzam os impactos negativos da escassez hídrica e da salinidade ao mesmo tempo que proporcione a economia de água de boa qualidade (LACERDA *et al.*, 2016; LACERDA *et al.*, 2021; CAVALCANTE *et al.*, 2021).

A luminosidade é outro aspecto ambiental importante a ser estudado, visto que a luz é um dos principais fatores que afetam o crescimento das plantas, fornecendo energia para

a fotossíntese e conseqüentemente para a regulação do seu desenvolvimento (ECHER *et al.*, 2019). As variações nos níveis de intensidade luminosa incidente podem afetar aspectos morfofisiológicos das plantas, interferindo no seu desenvolvimento a depender da sua habilidade de adaptação às condições luminosas do ambiente, onde irão apresentar mecanismos de tolerância ou escape (CÉSAR *et al.*, 2014).

As plantas que se desenvolvem em condições naturais estão sujeitas à influência de dois ou mais fatores abióticos simultaneamente, o que pode potencializar os seus efeitos negativos, tornando-se limitantes para o estabelecimento de espécies que não são adaptadas às condições ambientais em que se encontram (SILVA *et al.*, 2017).

O sombreamento pode ser uma alternativa para mitigar este problema, visto que limita a radiação solar incidente na superfície das folhas, reduz a temperatura e quantidade de energia absorvida, modificando as condições ambientais em estufas de forma a melhorar o desenvolvimento da planta, podendo inclusive ajudar a atenuar os efeitos nocivos dos sais sobre as plantas (AHEMD *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2020).

A vegetação nativa da Caatinga apresenta diversos mecanismos de adaptação fisiológica aos estresses abióticos, responsáveis por garantir a sua sobrevivência em condições hostis como na região semiárida, que sofre influência de fatores simultâneos devido ao seu alto déficit de pressão de vapor, alta radiação solar e déficit hídrico (RIVAS *et al.*, 2020). O angico, por sua vez apresenta alta plasticidade fenotípica, podendo alterar sua fisiologia ou morfologia de acordo com as condições do ambiente (DUTRA *et al.*, 2016). O conhecimento desses mecanismos de adaptação permite entender como essas espécies conseguem se estabelecer em tais ambientes, possibilitando seu cultivo comercial, sua utilização na recuperação de áreas degradadas e ao mesmo tempo promovendo a conservação do bioma.

A produção florestal além de fornecer matéria prima para o desenvolvimento da indústria nacional, também contribui para o desenvolvimento socioeconômico e impulsiona a economia local através da geração de emprego e renda, o que seria interessante principalmente em regiões menos desenvolvidas e que possuem grandes extensões de áreas degradadas, que poderiam ser convertidas em cultivos florestais, como é o caso da Região Nordeste (MOREIRA; OLIVEIRA, 2017). Contudo, o setor florestal têm encontrado entraves na produção de espécies nativas para o plantio em larga escala, principalmente devido aos seus aspectos ecofisiológicos (VALVERDE *et al.*, 2012).

Frente à carência de informações sobre o desenvolvimento de espécies florestais nativas, em particular o angico, em ambientes com influência de fatores abióticos, atuantes principalmente no semiárido brasileiro, região que apresenta características de vegetação, clima

e solo peculiares, torna-se importante a realização de trabalhos que tenham o intuito de potencializar a produção agrícola ao passo que previna a degradação dos recursos naturais.

2 HIPÓTESE

O sombreamento parcial atenua os efeitos da salinidade da água de irrigação no desenvolvimento inicial de mudas de *Anadenanthera colubrina*.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o desenvolvimento inicial de mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes condições de sombreamento e salinidade da água de irrigação.

3.2 Objetivos específicos

- I. Identificar o nível de sombreamento que melhor proporcione a obtenção de mudas de qualidade de *Anadenanthera colubrina*.
- II. Avaliar os efeitos da salinidade na produção de mudas de *Anadenanthera colubrina*.
- III. Avaliar os efeitos da irrigação com água salobra e dos diferentes níveis de radiação solar incidentes sobre o acúmulo de sais no solo.
- IV. Avaliar a influência do sombreamento e salinidade da água de irrigação sobre as trocas gasosas das mudas de *Anadenanthera colubrina*.
- V. Identificar a melhor interação entre nível de sombreamento e salinidade da água de irrigação, que proporcione mudas de *Anadenanthera colubrina* de melhor qualidade e com melhor potencial de desenvolvimento sob condições semiáridas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 O Bioma Caatinga

O domínio geográfico do Bioma Caatinga compreende uma extensão de 735.000 km², abrangendo parte dos territórios dos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e parte de Minas Gerais. Sua área corresponde a aproximadamente 55% dos 1.548.672 km² da área da Região Nordeste e a 11% do território brasileiro (COELHO JÚNIOR *et al.*, 2020).

As condições climáticas da região são caracterizadas pela distribuição irregular das precipitações, o que resulta em secas severas periódicas. A região apresenta temperaturas médias de 27 °C, taxa de evaporação de 2.000 mm ao ano e taxa de precipitação em torno de 800 mm ao ano. Estes fatores climáticos contribuem para a degradação dos solos da região e da vegetação nativa, podendo intensificar o processo de desertificação (LIMA *et al.*, 2011; COELHO JÚNIOR *et al.*, 2020).

Os solos da região semiárida, onde está inserido o bioma, em geral são rasos, com pouca capacidade de retenção de água, porém são mais férteis, e por isso, potencialmente mais suscetíveis à salinidade e sodicidade, devido a seus elevados teores de sais solúveis e sódio trocável, associados às elevadas taxas de evapotranspiração e elevada irregularidade das chuvas, conseqüentemente aumentando a sua concentração tanto no solo quanto nos corpos d'água (BEZERRA *et al.*, 2013).

As espécies deste bioma são adaptadas às condições ambientais severas, como baixa disponibilidade hídrica, alta radiação solar, baixa umidade relativa do ar, altas temperaturas responsáveis pelas elevadas taxas de evapotranspiração, além de apresentarem peculiaridades nas formas de vegetação, onde os seus mecanismos de adaptação são os principais fatores que contribuem para sua singularidade nas comunidades vegetais (SANTOS *et al.*, 2020).

Além das condições ambientais da região, a ação humana também tem dificultado consideravelmente a regeneração natural do bioma. Apesar das adversidades impostas pelo clima semiárido, o setor agropecuário é um dos principais contribuintes para impulsionar a economia do sertão nordestino. A prática da agricultura na Caatinga é feita de forma tradicional, no qual uma área é desmatada, queimada, cultivada com culturas de subsistência (milho, feijão, mandioca) e posteriormente, abandonada. Tal prática prejudica a qualidade do solo, diminuindo a sua fertilidade em função do baixo aporte de matéria orgânica e destruindo a comunidade microbiana existente, a qual é responsável por diversos processos no solo, comprometendo o

desenvolvimento de plantas e mantendo o solo descoberto, o que o deixa mais propenso ao processo de desertificação (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019).

A pecuária extensiva é outra atividade que impacta o bioma de forma considerável. A região Nordeste se destaca nacionalmente devido à grande quantidade de rebanhos de caprinos e ovinos. Por necessitar de grandes extensões de terra, essa atividade requer muitas vezes a remoção da vegetação nativa para a implantação de pastagens ou a utilização dessa vegetação como principal ou única fonte alimentar. Ademais, quando muito explorados pela pecuária, os locais de permanência dos rebanhos tendem a apresentar solo raso e compactado devido à ação do sobrepastejo, agravando o seu estado de degradação e reduzindo a sua capacidade produtiva, visto que geralmente os rebanhos exploram os recursos da área até a sua exaustão (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019).

A extração da vegetação nativa como fonte de energia também afeta os recursos renováveis do bioma. Muitas vezes, o consumo de lenha nativa é feito de forma ilegal e não sustentável de forma a atender diferentes demandas, sejam elas domésticas ou industriais. Nos sertões, a lenha atende a mais de 70% da demanda energética (ARAÚJO FILHO, 2013) e cerca de 80% da lenha e do carvão obtidos no Nordeste é proveniente da Caatinga (MMA, 2017). Quando não acompanhada por projetos de reflorestamento, a prática do extrativismo pode levar à exaustão dos recursos florestais, levando ao desaparecimento de espécies do bioma e perda de biodiversidade (VILELA; CALLEGARO; FERNANDES, 2019). Estima-se que a vegetação nativa da Caatinga já foi reduzida em mais de 50% em razão da exploração ilegal de lenha, conversão de áreas em pastagens e agricultura (MMA, 2017).

A vegetação da Caatinga, embora seja extremamente resistente ao clima semiárido, não apresenta resistência à interferência antrópica, estando exposta a fenômenos de degradação, como a desertificação intensificada pelo desmatamento. Dependendo da gravidade da degradação, os recursos deste bioma podem se tornar indisponíveis, tanto em qualidade como em quantidade. Dessa forma, é necessário o estudo de fatores que possam contribuir para a sua conservação ao passo que permita a exploração consciente de seus recursos levando em consideração a particularidade deste bioma (SILVA *et al.*, 2018).

4.2 Caracterização da espécie em estudo

O Angico Branco (*Anadenanthera colubrina*) é uma espécie arbórea nativa do Brasil que possui uma ampla distribuição pelo território nacional, sendo encontrada em vários biomas, dentre eles, a Caatinga. É considerada uma espécie pioneira a secundária inicial,

tolerando sombreamento leve na fase inicial de desenvolvimento, podendo apresentar alturas de até 25 metros e tronco reto e cilíndrico com diâmetro variando de 30 a 60 centímetros (SAUERESSIG, 2014). Os frutos dessa espécie são do tipo vagens, secos e deiscentes, e suas sementes são orbiculares e estreitamente aladas (MORIM, 2019).

Sua ocorrência é relatada tanto em solos com boa disponibilidade hídrica, férteis e profundos, com textura areno-argilosa e bem drenados, quanto em solos rasos e com baixa fertilidade química (CARVALHO, 2003).

O Angico apresenta como principal característica uma reprodução vigorosa, em função da ausência de dormência, rapidez na germinação e ótima taxa de germinação em amplas faixas de temperatura (MAIA, 2008). Além disso, por ser uma espécie com alta plasticidade fenotípica, o Angico pode ser cultivado tanto sob menores intensidades de luz como sob plena radiação solar, fazendo com que essa espécie seja muito utilizada na arborização urbana e em programas de recuperação de áreas degradadas (DUTRA *et al.*, 2016).

Dentre as espécies florestais nativas do Brasil com potencial para a exploração comercial, o angico vem sendo cada vez mais utilizado na arborização urbana, reposição de mata ciliar e recuperação de áreas degradadas, devido à sua alta velocidade de crescimento e fácil adaptação. A florada do angico é precoce, e por florescer o ano todo, atrai insetos polinizadores, promovendo também a diversificação da área (CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015).

As diferentes partes da planta podem ser utilizadas em diversas finalidades. Suas folhas podem ser empregadas na alimentação animal. Quando murchas, são tóxicas para o gado, porém, quando fenadas ou secas constituem boa forragem. Com relação à casca, possui alto valor medicinal visto que possui propriedades adstringentes, depurativas e homeostáticas, sendo muito usada para combater patologias pulmonares e das vias respiratórias, diarreias, reduzir sangramentos e estancar hemorragias, além de ajudar a eliminar substâncias nocivas à saúde. Sua madeira é densa ($0,84 \text{ g/cm}^3$) e possui excelente qualidade devido à sua elevada resistência mecânica e durabilidade, sendo largamente empregada na marcenaria, carpintaria, construção civil e naval. A madeira do angico também é amplamente utilizada em fins energéticos, visto que produz lenha e carvão vegetal de alta qualidade (lignina com cinzas de 28%) e por ser robusta, uma única árvore pode fornecer mais de 5 m^3 de lenha (CARVALHO, 2003; CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015).

No período de 2014-2015 o preço médio do m^3 da madeira de angico branco para fins energéticos (lenha) ficava em torno de R\$ 50,00, enquanto que para a serraria o valor do m^3 variava entre R\$ 136,67 a R\$ 570,00 (CAMPOS FILHO; SARTORELLI, 2015).

A potencialidade desta espécie tem ocasionado sua exploração desenfreada em áreas nativas, associada à falta de práticas adequadas de manejo, correndo risco de extinção em algumas regiões do país (DIAS *et al.*, 2015). Em função disso, acredita-se que exista menos da metade da cobertura vegetal original do bioma Caatinga (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Dada a importância econômica e ecológica do Angico Branco, o conhecimento sobre a germinação e o estabelecimento de plântulas sob diferentes níveis de radiação solar incidente e salinidade permitirá compreender melhor os mecanismos de sobrevivência desta espécie sobretudo para as condições ambientais do Semiárido Brasileiro e os fatores que interferem no seu desenvolvimento, visto que há poucos estudos acerca do comportamento da maioria das espécies nativas da Caatinga submetidas a tais condições ambientais nas fases iniciais do seu ciclo de vida (NOGUEIRA *et al.*, 2014).

4.3 Efeitos do estresse salino nas plantas

Os efeitos do estresse salino sobre as plantas estão associados à redução do potencial osmótico da solução do solo, aos distúrbios nutricionais e aos efeitos específicos de alguns íons (toxidez), dificultando o seu crescimento e desenvolvimento (ISAYENKOV; MAATHUIS, 2019). Esses componentes juntos refletirão diretamente no desenvolvimento da planta, uma vez que os danos ocasionados comprometem totalmente a prosperidade dos processos fotossintéticos, os quais são utilizados na produção de fotoassimilados a serem utilizados no crescimento de diferentes órgãos (QUEIROGA, 2006; TEDESCHI *et al.*, 2017).

A salinidade geralmente apresenta efeitos semelhantes aos causados pelo estresse hídrico, como redução no crescimento e desenvolvimento da planta, alterações nas trocas gasosas, dentre outros, sendo possível inferir que uma das estratégias de sobrevivência capaz de permitir a conservação da água durante períodos críticos, é o menor desenvolvimento da parte aérea visto que a redução do número de folhas, biomassa da parte aérea e área foliar é diretamente proporcional à redução da água transpirada total (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

O ajuste osmótico é um mecanismo adaptativo envolvido na seca ou na salinidade auxiliando na manutenção do turgor em condições de déficit hídrico (HEUER; NADLER, 1988). O equilíbrio osmótico é essencial para a sobrevivência das plantas que crescem em condições de estresse abiótico. A falha neste equilíbrio resulta em perda de turgescência, desidratação celular e conseqüentemente a morte das células (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015).

Um dos principais efeitos ocasionados pelo estresse salino é a redução do crescimento da planta, como consequência das respostas fisiológicas, incluindo modificações no balanço iônico, potencial hídrico, nutrição mineral, fechamento estomático, eficiência fotossintética e alocação de carbono (SILVA *et al.*, 2008; SECKIN *et al.*, 2009). Isso ocorre por que devido ao aumento da concentração de sais na zona radicular das plantas ocasiona uma redução na absorção de água em função da diminuição do potencial osmótico (ψ_{os}) e consequente redução do potencial hídrico no solo (ψ_w), restringindo a absorção de água pelas raízes, especialmente em espécies sensíveis (EL-HENDAWY *et al.*, 2017).

Em relação aos distúrbios nutricionais, o uso de águas salinas na irrigação causa severas restrições no equilíbrio nutricional, crescimento e produção de inúmeras culturas, devido aos efeitos dos sais sobre as plantas (PEREIRA *et al.*, 2017). Esse desequilíbrio nutricional causado pela salinidade decorre principalmente da redução na absorção de nutrientes essenciais à planta, devido à competição na absorção e transporte (ARAGÃO *et al.*, 2010). A alta concentração de íons de sódio (Na^+) prejudica a absorção de outros cátions importantes nas funções metabólicas da planta, como o cálcio (Ca^{2+}), o magnésio (Mg^{2+}) e o potássio (K^+), levando ao desbalanceamento nutricional (CARMONA *et al.*, 2009).

Um dos fatores mais importantes que afeta a sensibilidade das culturas ao teor de sais é o estágio fenológico em que a planta se encontra, devido ao fato de que as plantas têm o seu comportamento afetado pela salinidade da água de irrigação de forma diferente em função do seu estágio de desenvolvimento (DIAS *et al.*, 2011). Estudos realizados com o intuito de determinar a sensibilidade das culturas em diferentes estágios são importantes quando se quer utilizar a água salina na produção agrícola. A identificação de estágios tolerantes ao sal permite desenvolver opções para otimizar a redução do rendimento sob estresse salino, ao passo que permite a economia da água de qualidade (ZENG *et al.*, 2001).

Pereira *et al.*, (2012) citam que a maioria das espécies de plantas desenvolveram mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares que aumentam a sua resistência aos estresses hídrico e salino e que esses mecanismos podem contribuir para uma melhor adaptação das culturas em ambientes em que tais condições predominam (WILLADINO *et al.*, 2017). O fechamento estomático é uma das respostas mais rápidas de plantas submetidas a estresses abióticos, como forma de controlar as perdas de água (GOMES; PRADO, 2007).

É importante avaliar os fatores que permitam a utilização de águas salinas na agricultura, possibilitando a concepção de estratégias de longo prazo que contribuam para obter bons níveis de produtividade sem ocasionar a degradação do solo (NEVES *et al.*, 2010). A

utilização de águas com elevados teores de sais na prática da irrigação requer melhorias no manejo hídrico, manutenção do solo e cultivo de culturas tolerantes à salinidade (LACERDA *et al.*, 2016; CAVALCANTE *et al.*, 2021).

4.4 Efeitos do excesso de radiação solar sobre as plantas

A luz, fonte primária de energia, é um dos principais fatores que afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, não só por fornecer energia para a fotossíntese, como também por fornecer sinais que regulam o seu crescimento (ZANELLA *et al.*, 2006). Sendo a Região Semiárida caracterizada por elevados índices de radiação solar diária, um dos fatores mais importantes a serem estudados é a interferência de diferentes intensidades luminosas sobre as plantas em desenvolvimento (MELO; CUNHA, 2008).

O crescimento de algumas espécies sob diferentes intensidades de iluminação está diretamente relacionado à capacidade de adaptação do seu comportamento fisiológico de forma a maximizar a aquisição de recursos nestes ambientes (MELO; CUNHA, 2008). As plantas possuem adaptações de ajuste do seu aparelho fotossintético de forma a resistir às adversidades luminosas do ambiente, buscando aproveitar a luz da forma mais eficiente possível, sendo as respostas desses mecanismos de adaptação refletidas nas variáveis de crescimento da planta. Entretanto, essas adaptações variam conforme as espécies e as suas exigências ao longo da produção das mudas (BONAMIGO *et al.*, 2016).

Silva *et al.*, (2007) citam que estudos avaliando o crescimento de árvores nativas submetidas a diferentes condições de luminosidade tem sido realizados como forma de examinar os mecanismos de resposta de tais espécies ao estresse. Diante disso, tem-se observado que o crescimento das plantas pode estar diretamente relacionado com a sua habilidade de aclimação às condições de luminosidade no ambiente.

De acordo com Scalon e Alvarenga (1993), as plantas nativas apresentam diferentes respostas à luminosidade, especialmente em relação ao desenvolvimento vegetativo da parte aérea e a sobrevivência das mudas. Dentre as características utilizadas para avaliar a resposta de plantas submetidas a diferentes intensidades luminosas, a altura da planta é uma das mais utilizadas, visto que a capacidade de crescimento em condições de sombreamento é um mecanismo de adaptação de plantas que buscam por uma maior taxa de iluminação (FELSEMBURGH *et al.*, 2016).

Em regiões quentes e ensolaradas, como é o caso do Semiárido Brasileiro, a intensidade da radiação e a temperatura ambiente são extremamente altas, dificultando o cultivo

agrícola em condições de campo. Dessa forma, a produção de mudas em estufas passou a ser uma alternativa viável nessas regiões (AHEMD *et al.*, 2016).

O sombreamento artificial vem sendo cada vez mais utilizado no estudo das necessidades luminosas de diversas espécies, visto que reduz a incidência direta dos raios solares e pode contribuir para minimizar os efeitos extremos da radiação, tornando possível observar como funcionam os mecanismos de adaptação das plantas a esses estresses abióticos (BEZERRA NETO *et al.*, 2005).

Gazolla-Neto *et al.*, (2013) afirmam que o estudo do comportamento de plantas sob condições de sombreamento é crucial, à medida em que possibilita o conhecimento de características inerentes a planta e permite inferir sobre condições ótimas de manejo. Assim, as características de crescimento das plantas permitem deduzir o grau de tolerância de diferentes espécies ao sombreamento (FERREIRA *et al.*, 2012).

É importante salientar que os conhecimentos referentes às necessidades de luz para espécies arbóreas tropicais são imprescindíveis tanto para a recomposição de florestas como para o desenvolvimento de espécies economicamente importantes (NAKAZONO *et al.*, 2001).

4.5 Mecanismos de tolerância das plantas ao estresse salino e excesso de radiação

A habilidade das plantas sobreviverem às condições adversas é de extrema importância para a sua distribuição geográfica e para a ampliação da agricultura em áreas onde o desenvolvimento da maioria das espécies é limitado, devido a fatores como excesso de radiação solar e salinização do solo (FREIRE *et al.*, 2010).

Quando se fala de espécies nativas, existe uma grande variedade de respostas das plantas quanto ao seu desenvolvimento em relação à quantidade de radiação recebida, com muitas das estratégias de tolerância ligadas aos grupos a que essas espécies pertencem, isso por que algumas possuem maior tolerância ao sombreamento e conseqüentemente maior plasticidade fenotípica, ou seja, possuem a capacidade de responder adaptivamente às mudanças nas condições ambientais (OLIVEIRA; PEREZ, 2012; ZIMMERMANN *et al.*, 2019).

Para enfrentar as adversidades luminosas do ambiente, as plantas possuem mecanismos de adaptação que envolvem o ajuste de seu aparelho fotossintético, de forma a utilizar a luz disponível da forma mais eficiente possível, porém, como mencionado anteriormente, essa característica varia conforme a espécie (BONAMIGO *et al.*, 2016).

Geralmente, o grau de adaptação de uma espécie à disponibilidade de luz é analisado por meio das características inerentes ao crescimento, alocação de biomassa e ajuste do comportamento fisiológico (LIMA JUNIOR *et al.*, 2005).

Ao serem expostas à radiação solar direta, as plantas tendem a investir na produção de biomassa do sistema radicular, para compensar as perdas de água. Isso por que acaba ocorrendo uma situação de déficit hídrico devido à elevação da temperatura e consequente evaporação da umidade contida no substrato, o que leva a planta a investir no crescimento radicular como forma de otimizar a aquisição de água (CARON *et al.*, 2014). Além disso, plantas sob alta intensidade luminosa tendem a apresentar menores folíolos e menor número de folhas, com consequente redução no teor de biomassa da parte aérea, como mecanismos fotoprotetores pra sobreviverem à estas condições. Isso por que nesses ambientes as folhas podem sofrer um superaquecimento, o que irá aumentar as taxas de transpiração e as perdas de água na planta. Além disso, pode ocorrer também a fotoinibição, ocasionando danos ao aparato fotossintético (ZIMMERMANN *et al.*, 2019).

Quanto às respostas à salinidade, o excesso de sais ao afetar o estado hídrico da planta devido ao seu efeito osmótico, faz com que ocorra a diminuição da condutância estomática como forma de evitar a perda de água por evaporação, visto que a absorção de água foi reduzida. Consequentemente, são observadas reduções significativas em variáveis como teor de biomassa, altura da planta e diâmetro do caule, indicando que a assimilação de carbono foi afetada devido a reduções no fluxo de CO₂ comprometendo a atividade fotossintética em virtude do fechamento estomático (FREITAS *et al.*, 2017). Dessa forma, o equilíbrio osmótico é essencial para as plantas que crescem sob condições de salinidade, visto que pode afetar quase todos os aspectos de desenvolvimento da planta, tais como: germinação, crescimento vegetativo e reprodutivo (SHRIVASTAVA; KUMAR, 2015).

Outra resposta da planta ao estresse salino é o acúmulo de carboidratos, proteínas e aminoácidos no interior da célula vegetal, propiciando a osmorregulação e favorecendo a tolerância da espécie a certos níveis de estresse (TAIZ; ZEIGER, 2013). A redução da pressão osmótica pode acarretar a perda de água pela planta, sendo necessário o acúmulo de solutos orgânicos no citoplasma como forma de manter o volume celular e o turgor, auxiliando na tolerância à salinidade (ZELM *et al.*, 2020).

A plasticidade fisiológica é uma característica importante quando se fala de resistência às condições ambientais estressantes (RIVAS *et al.*, 2020). As espécies que possuem a capacidade de ajuste do seu aparelho fotossintético e apresentam alta eficiência no uso da

água sob alto déficit de pressão de vapor (DPV), estresse salino e alta ou baixa intensidade de luz incidente podem ter uma vantagem sobre as demais (LAWSON *et al.*, 2014).

Dessa forma, o conhecimento sobre o crescimento das plantas em condições de estresse é a chave para a sobrevivência e o estabelecimento de espécies florestais em ecossistemas tropicais, pois permite avaliar os mecanismos que lhe permitem sobreviver nessas condições extremas (WORBES *et al.*, 2013; LAWSON *et al.*, 2014).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido no Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU), pertencente ao Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, município de Fortaleza - Ceará (Figura 1), situado nas coordenadas geográficas 03°44'17" S, 38°34'22" W e altitude de 19 m, no período de 14 de setembro a 19 de novembro de 2020.

O clima da região de acordo com o sistema de classificação de Köppen (1923) é do tipo Aw', caracterizando-se como clima tropical chuvoso, muito quente, com chuvas predominantes nas estações de verão e outono. A região apresenta temperatura média anual de 26,9 °C e pluviosidade média anual de 1.338 mm (IPECE, 2017).

Figura 1 – Mapa de localização da área experimental



Fonte: IPECE 2021, adaptado pela autora

5.2 Caracterização da área experimental

Para a condução do experimento foram utilizados três estruturas (ambientes) de madeira, medindo 2,80 m de altura, 6,11 m de largura e 9,03 m de comprimento. Para a cobertura e laterais das estruturas, foram utilizados sombrites (telas de sombreamento) de coloração preta, com 30%, 50% e 70% de sombreamento (Figura 2). Como tratamento testemunha, foi utilizado um ambiente a pleno sol, cercado com tela para evitar interferências externas (Figura 3).

Figura 2 – Vista parcial dos ambientes utilizados para a condução do experimento



Fonte: Autoria própria, 2020

Figura 3 – Vista parcial do ambiente a pleno sol

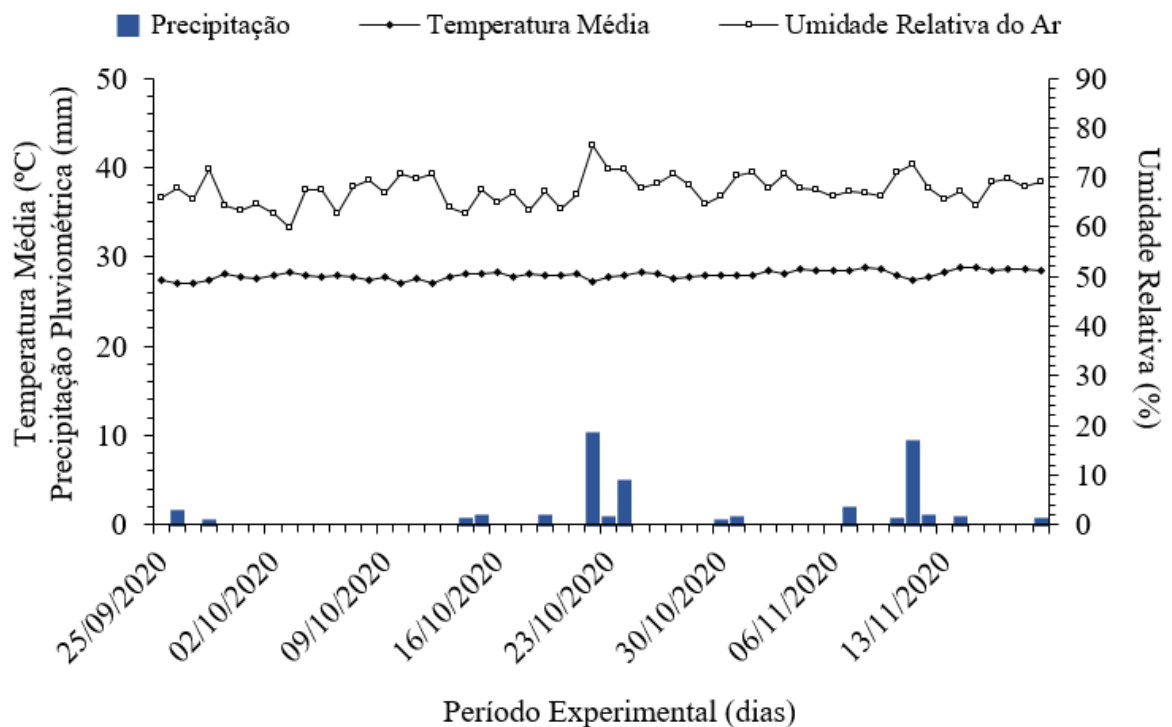


Fonte: Autoria própria, 2020

Dados diários de temperatura média, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e radiação solar global foram coletados da estação climatológica Fortaleza A305 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020), situada nas coordenadas 03°48'56,5" S, 38°32'16,1" W e altitude de 20 m, que fica a aproximadamente 9,56 km da área do experimento. A temperatura média durante o período experimental foi de 27,9 °C, a umidade relativa do ar média foi 67,5% e a precipitação total foi 32,2 mm (Figura 4).

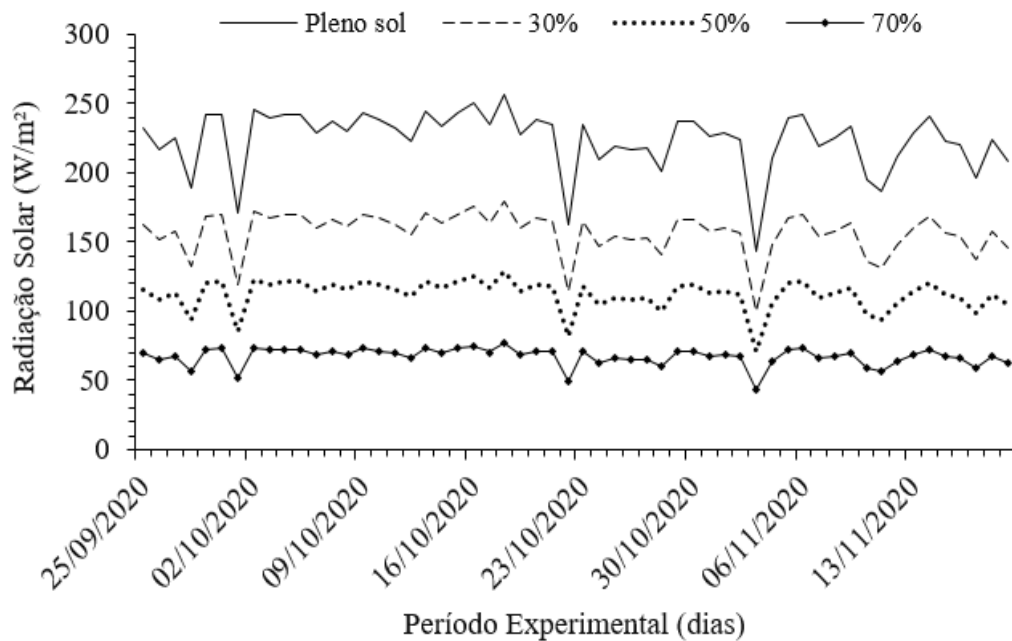
Os dados de radiação solar global da Estação do INMET foram considerados como referência para o ambiente a pleno sol, sendo os valores dos demais ambientes estimados conforme o percentual de sombreamento de cada ambiente (Figura 5).

Figura 4 – Dados diários de temperatura média, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica durante o período de condução do experimento



Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Meteorologia, 2020

Figura 5 – Valores médios diários referentes à radiação solar (W/m^2) durante a condução do experimento



Fonte: Adaptado do Instituto Nacional de Meteorologia, 2020

5.3 Produção de mudas

Para a produção das mudas foram utilizadas sementes de Angico Branco (*Anadenanthera colubrina*) provenientes da Reserva Natural Serra das Almas (RNSA), localizada na divisa entre os municípios de Crateús (CE) e Buriti dos Montes (PI) e implantada pela Associação Caatinga, instituição não governamental que desenvolve projetos de conservação de áreas naturais.

As mudas foram produzidas em casa de vegetação com 50% de sombreamento. As sementes de angico foram semeadas em 14 de setembro de 2020, em bandejas de isopor de 128 células, com volume de $23,60 \text{ cm}^3$. O substrato utilizado foi composto por arisco + húmus de minhoca + solo na proporção 1:1:1.

As mudas permaneceram na estufa por 10 dias após a semeadura, sendo irrigadas diariamente com água de condutividade elétrica de $0,4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, mantendo a umidade adequada para a emergência das plântulas e desenvolvimento inicial das mudas.

Figura 6 – Semeadura (A) e germinação (B) das sementes de *Anadenanthera colubrina*

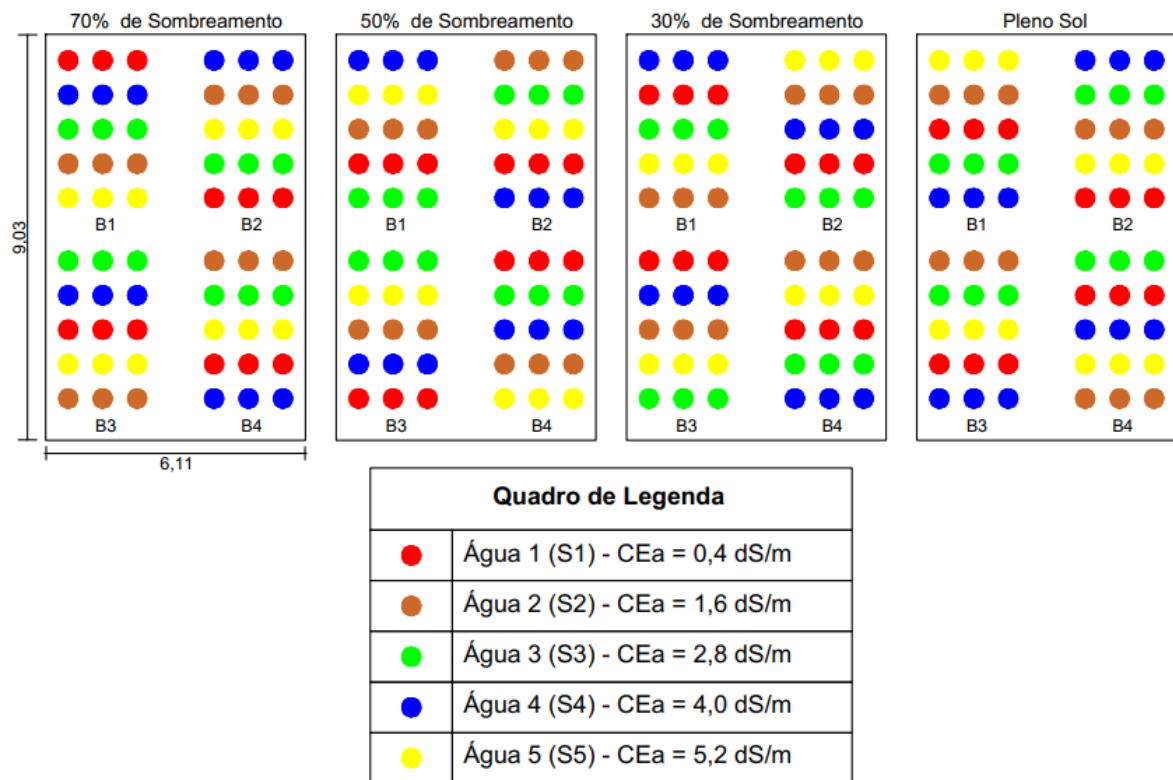


Fonte: Autoria própria, 2020

5.4 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido sob delineamento estatístico de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram formadas por quatro níveis de retenção do fluxo de radiação solar: 0% (pleno sol), 30%, 50% e 70% de sombreamento. As subparcelas foram compostas por cinco níveis crescentes de salinidade da água de irrigação: 0,4, 1,6, 2,8, 4,0 e 5,2 dS.m⁻¹, totalizando 80 unidades experimentais, cada uma composta por três vasos, com uma planta em cada vaso. O layout da disposição dos tratamentos na área experimental está disposto na figura 7 a seguir.

Figura 7 – Layout da área experimental



Fonte: Autoria própria, 2020

Os níveis de condutividade elétrica da água de irrigação utilizados para compor os tratamentos, foram obtidos por meio da dissolução dos sais cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e cloreto de magnésio ($\text{MgCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) na proporção 7:2:1, adicionados à água de poço de condutividade elétrica de $0,4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. A proporção utilizada é uma aproximação representativa da maioria das fontes de água disponível para irrigação na Região Nordeste do Brasil (MEDEIROS, 1992).

5.5 Instalação e condução do experimento

Aos 10 dias após a semeadura (DAS) as mudas foram selecionadas de acordo com a uniformidade de altura, diâmetro e número de ramos e foram transplantadas para vasos plásticos de polietileno, com volume de 7 litros, contendo uma camada de 3 cm de brita no fundo, para facilitar a drenagem da água. Os vasos foram preenchidos com uma mistura de arisco, húmus de minhoca e solo, classificado como Argissolo Vermelho-amarelo, na proporção 7:1:2, respectivamente.

O transplante foi realizado ao final da tarde, de modo a minimizar fatores que poderiam causar estresse, como luz e alta temperatura. As mudas foram irrigadas por 15 dias com água de condutividade elétrica de $0,4 \text{ dS.m}^{-1}$, para que seu estabelecimento não fosse comprometido. Após esse período, iniciou-se a aplicação dos tratamentos com água salobra.

Figura 8 – Disposição dos vasos nos ambientes (A) e após a repicagem das mudas (B)



Fonte: Autoria própria, 2020

Antes do início da aplicação dos tratamentos salinos, foi realizada uma adubação de fundação seguindo as recomendações de Gonçalves *et al.* (2012) para mudas de angico produzidas em Argissolo Vermelho-amarelo, com as seguintes doses em mg.dm^{-3} de solo: 50 de N, 150 de P e 50 de K. As fontes utilizadas foram ureia (46% de N), superfosfato simples (18% de P_2O_5 , 25% de CaO e 12% de S) e cloreto de potássio (62% de K_2O).

Para controlar as plantas invasoras, foi realizado controle manual à medida em que apareciam nos vasos, para evitar competição por água e nutrientes com as mudas. Para o controle das formigas incidentes na área, foi realizada a aplicação de 20 mL de cipermetrina líquida diluídos em 1 litro de água e aplicado diretamente nos focos de infestação.

As irrigações foram realizadas de forma manual, com turno de rega de dois dias, sendo a quantidade de água a ser aplicada determinada pelo método do lisímetro de drenagem, em que a irrigação é realizada com base no consumo hídrico da cultura, estimada por meio da diferença entre o volume de água aplicado e o volume drenado (equação 01). Em cada irrigação

foi adotada uma fração de lixiviação de 15% de modo a evitar o acúmulo excessivo de sais na zona radicular das mudas (AYERS; WESTCOT, 1999).

$$ITN = \frac{(VA - VD)}{(1 - 0,15)} \quad (01)$$

Em que: ITN: irrigação total necessária (mL); VA: volume de água aplicado (mL); VD: volume de água drenado (mL); 0,15: fração de lixiviação.

Ao final do período experimental, foi estimado o volume total de solução salina consumido pelas mudas, disposto na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Volume total de água consumido (média ± erro padrão) pelas mudas de *Anadenanthera colubrina* estimado ao final do experimento

	Consumo Hídrico (L)			
	70%	50%	30%	Pleno Sol
0,4 dS.m⁻¹	5,624 ± 0,33	6,254 ± 0,49	7,740 ± 0,32	8,656 ± 0,81
1,6 dS.m⁻¹	5,489 ± 0,22	6,033 ± 0,34	6,571 ± 0,27	7,758 ± 0,29
2,8 dS.m⁻¹	4,211 ± 0,19	4,622 ± 0,28	5,630 ± 0,34	6,822 ± 0,36
4,0 dS.m⁻¹	4,132 ± 0,61	4,557 ± 0,16	5,166 ± 1,17	6,249 ± 1,25
5,2 dS.m⁻¹	3,483 ± 0,27	3,976 ± 0,29	4,675 ± 0,66	5,941 ± 0,58

Fonte: Autoria própria, 2020

5.6 Variáveis analisadas

5.6.1 Salinidade do solo

A salinidade do solo foi determinada ao final do experimento através da medição da condutividade elétrica da suspensão solo:água (1:1 na base de volume) e expressa em dS.m⁻¹. Para tanto, foram pesados 100 g de terra fina seca ao ar (TFSA) e adicionados 100 mL de água destilada. A suspensão foi agitada a cada 15 minutos durante o período de 1 hora em uma mesa agitadora, onde descansou por 24 horas e em seguida foi filtrada. Posteriormente, procedeu-se com a leitura da condutividade elétrica do extrato utilizando um condutivímetro portátil.

Figura 9 – Preparo do extrato solo:água (A) e determinação da condutividade elétrica do solo (B)



Fonte: A autoria própria, 2020

5.6.2 Variáveis biométricas

As medições das variáveis biométricas foram realizadas aos 40 dias após o início da aplicação dos tratamentos salinos, quando as mudas estavam com 63 dias de idade, em 19 de novembro de 2020.

5.6.2.1 Altura das plantas (AP)

Para determinar a altura de plantas, foi utilizada uma régua graduada para medir a partir do colo da planta até a extremidade da haste principal, sendo o valor expresso em centímetros.

5.6.2.2 Diâmetro do caule (DC)

O diâmetro do caule foi determinado com o auxílio de um paquímetro digital, a uma altura de aproximadamente 2 cm acima da superfície do solo e os valores expressos em milímetros.

5.6.2.3 Número de Folhas (NF)

O número de folhas foi determinado por meio de contagem manual a partir da base da planta até o ápice.

5.6.3 Trocas gasosas foliares

Foram determinadas as taxas de fotossíntese líquida (A , em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração foliar (E , em $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , em $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), aos 30 dias após o início dos tratamentos salinos, em 09 de novembro de 2020, utilizando um analisador de gás infravermelho portátil (IRGA), modelo LI-6400XT, Licor, USA, com intensidade luminosa de $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As leituras foram realizadas no período da manhã, entre 08:00 e 10:00 h, nas folhas completamente expandidas de cada planta e sob condições ambientes de temperatura e umidade relativa do ar. De posse dos dados de trocas gasosas, calculou-se a eficiência momentânea do uso da água ($A.E^{-1}$), eficiência intrínseca do uso da água ($A.g_s^{-1}$) e eficiência de carboxilação ($A.C_i^{-1}$).

Figura 10 – Avaliação das trocas gasosas das mudas de *Anadenanthera colubrina*



Fonte: Autorial própria, 2020

5.6.4 Produção de biomassa

Após as medições das variáveis biométricas, 40 dias após o início da aplicação dos tratamentos salinos, as plantas foram coletadas para ser feita a determinação da produção de biomassa. Após a coleta, as plantas foram particionadas em raízes, caule e folhas, acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura em torno de 65 °C até atingirem peso constante. Após a secagem, as amostras foram pesadas em uma balança analítica para fazer a determinação da massa seca de cada parte da planta, com os valores expressos em gramas.

Figura 11 – Detalhe das folhas (A) e do sistema radicular (B) das mudas de *Anadenanthera colubrina* durante a coleta



Fonte: Autoria própria, 2020

5.6.5 Índice de qualidade de Dickson (IQD)

Para definir um padrão de mudas consideradas ideais para o plantio, são utilizados índices que buscam determinar ao máximo a sua qualidade, pois levam em consideração aspectos morfológicos das plantas, permitindo selecionar mudas com maior uniformidade de crescimento da parte aérea e do sistema radicular, possibilitando maior resistência às condições adversas do campo (CORREIA *et al.*, 2013; MEDEIROS *et al.*, 2018).

Portanto, para determinar as mudas que apresentavam melhores condições de sobrevivência e estabelecimento em campo, calculou-se o índice de qualidade de Dickson (IQD) (equação 02), baseando-se na metodologia proposta por Dickson *et al.* (1960), em que:

$$\text{IQD} = \frac{\text{BST}}{\frac{\text{AP}}{\text{DC}} + \frac{\text{BSPA}}{\text{BSR}}} \quad (02)$$

Onde: IQD – índice de qualidade de Dickson; BST – biomassa seca total (g); AP – altura da planta (cm); DC – diâmetro do caule (mm); BSPA – biomassa seca da parte aérea (g); BSR – biomassa seca da raiz (g).

5.7 Análise estatística

Foi realizada a estatística descritiva dos dados (coeficientes de simetria e curtose) para verificar a sua normalidade e quando atestada a distribuição normal, os dados foram submetidos à análise de variância (MONTGOMERY, 2009). Quando significativas pelo teste F ($p \leq 0,05$), as médias foram submetidas à análise de regressão, admitindo-se erro de até 5% de probabilidade e adotando-se o modelo matemático com base na significância e no coeficiente de determinação. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares Microsoft Excel 2013[®] e SISVAR[®] versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Salinidade do solo

Analisando os resultados da análise de variância para os dados de condutividade elétrica do solo ($CE_{1:1}$) verificou-se que tanto os fatores isolados quanto a interação entre eles apresentaram significância ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 2).

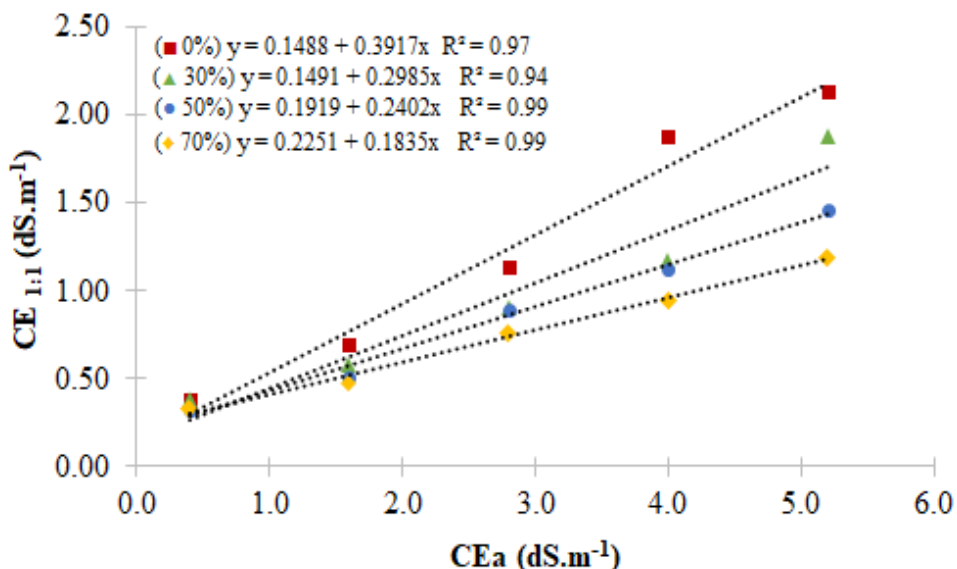
Tabela 2 – Resumo da análise de variância referente aos dados de condutividade elétrica do solo ($CE_{1:1}$) cultivado com mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio
		$CE_{1:1}$
Blocos	3	0,0308 ^{ns}
Sombreamento (A)	3	0,8256 ^{**}
Resíduo (a)	9	0,0232 ^{ns}
Salinidade (B)	4	4,6383 ^{**}
Interação (AxB)	12	0,2648 ^{**}
Resíduo (b)	48	0,0226 ^{ns}
CV (%) A		16,22
CV (%) B		16,02

NS – não significativo; * e ** - significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

Observa-se que ocorreu aumento linear da $CE_{1:1}$ do solo com o aumento dos níveis de salinidade, constatando que houve aumento do acúmulo de sais no solo com o aumento CE da água aplicada (Figura 12). Em relação aos níveis de sombreamento, verifica-se que o ambiente a pleno sol apresentou os maiores valores de $CE_{1:1}$ dentre todos os ambientes estudados, seguido pelos ambientes com 30%, 50% e 70% de sombreamento.

Figura 12 – Condutividade elétrica do solo (extrato 1:1 solo água) cultivado com mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2020

Foram constatados acréscimos unitários nos valores de $CE_{1:1}$ de 0,39; 0,29; 0,24 e 0,18 $dS.m^{-1}$ nos ambientes a pleno sol, 30%, 50% e 70% de sombreamento, respectivamente, para cada aumento da condutividade elétrica da água de irrigação.

Tal comportamento pode ser justificado pela maior incidência de radiação solar nos ambientes com menores níveis de sombreamento, o que pode ocasionar maior absorção de energia térmica pela superfície do solo em tais ambientes, consequentemente aumentando os valores de temperatura e a evaporação. Observando os dados médios de consumo de água é possível perceber claramente o maior consumo hídrico nos vasos colocados a pleno sol (Tabela 1), independente do nível de salinidade, resultando também em maior aporte de sais ao sistema.

Resultados semelhantes foram observados por Yuan *et al.* (2019) que verificaram o aumento gradual da concentração de sais no solo com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação e que a redução da disponibilidade de água favoreceu ainda mais esse acúmulo, o que ocorre nos ambientes com menores níveis de sombreamento, justificando as maiores concentrações de sais nos solos em tais ambientes.

De acordo com Oliveira *et al.* (2017) o aumento da condutividade elétrica do solo decorrente da irrigação com águas salobras pode inibir o desenvolvimento das plantas, em consequência de alterações nos parâmetros fisiológicos, de crescimento e de rendimento. Contudo, Cavalcante *et al.* (2021) destacam a potencialidade de usos da água salobra na região

semiárida, salientando que torna-se uma alternativa vantajosa quando utilizada como forma de suplementar a irrigação em curtos períodos de tempo, uma vez que reduz os impactos da escassez hídrica, os impactos sobre o solo são mínimos e aumenta a lucratividade especialmente para pequenos agricultores.

Figura 13 – Efeito das maiores concentrações de sais sob as mudas de *Anadenanthera colubrina* que estavam em ambiente a pleno sol (A – concentração de 4,0 dS.m⁻¹; B – concentração de 5,2 dS.m⁻¹)



Fonte: A autoria própria, 2020

6.2 Variáveis biométricas

Observando-se a Tabela 3, as variáveis altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) foram influenciadas significativamente pelos efeitos isolados do sombreamento e da salinidade da água de irrigação. A interação sombreamento x salinidade foi significativa ao nível de 5% de probabilidade para o número de folhas e ao nível de 1% para a altura de plantas.

Tabela 3 – Resumo das análises de variância referentes aos dados de altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF) de mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio		
		AP	DC	NF
Blocos	3	3,63 ^{ns}	0,0041 ^{ns}	0,698 ^{ns}
Sombreamento (A)	3	1327,56 ^{**}	0,0738 [*]	16,492 ^{**}
Resíduo (a)	9	4,106 ^{ns}	0,0166 ^{ns}	0,4599 ^{ns}
Salinidade (B)	4	462,13 ^{**}	0,9046 ^{**}	28,125 ^{**}
Interação (A x B)	12	27,162 ^{**}	0,0167 ^{ns}	0,532 [*]
Resíduo (b)	48	1,81 ^{ns}	0,0129 ^{ns}	0,237 ^{ns}
CV (%) A		11,25	8,13	9,79
CV (%) B		7,47	7,15	7,03

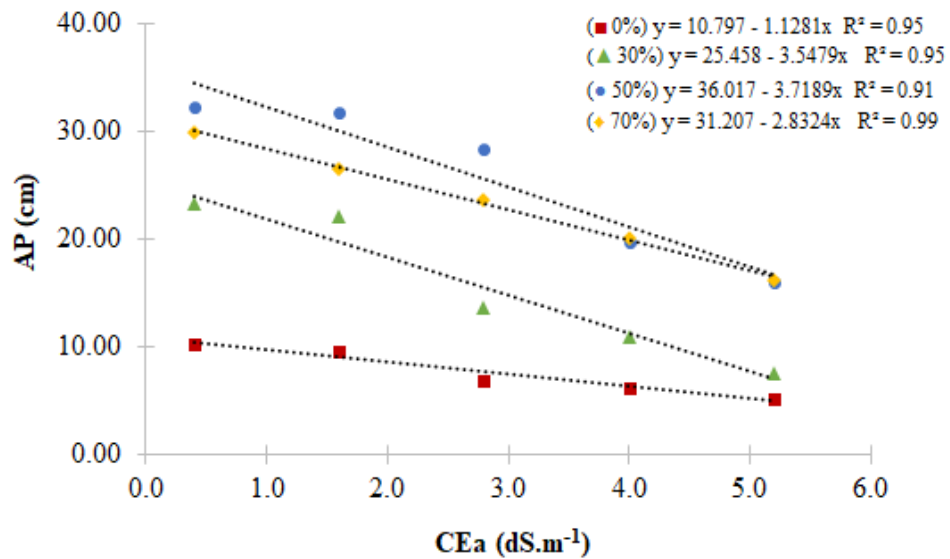
NS – não significativo; * e ** - significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

6.2.1 Altura de plantas

O incremento dos níveis de salinidade ocasionou decréscimos lineares nas médias de altura em todos os ambientes avaliados (Figura 14). Porém, a interpretação das respostas aos dois fatores de estresse, salinidade e sombreamento, é complexa. Verifica-se que há um estresse por excesso de radiação nas plantas do ambiente a pleno sol, as quais apresentam as menores alturas mesmo sob condições não salinas. Dessa forma, é possível inferir que no ambiente a pleno sol o estresse luminoso é potencializado nas mudas de angico.

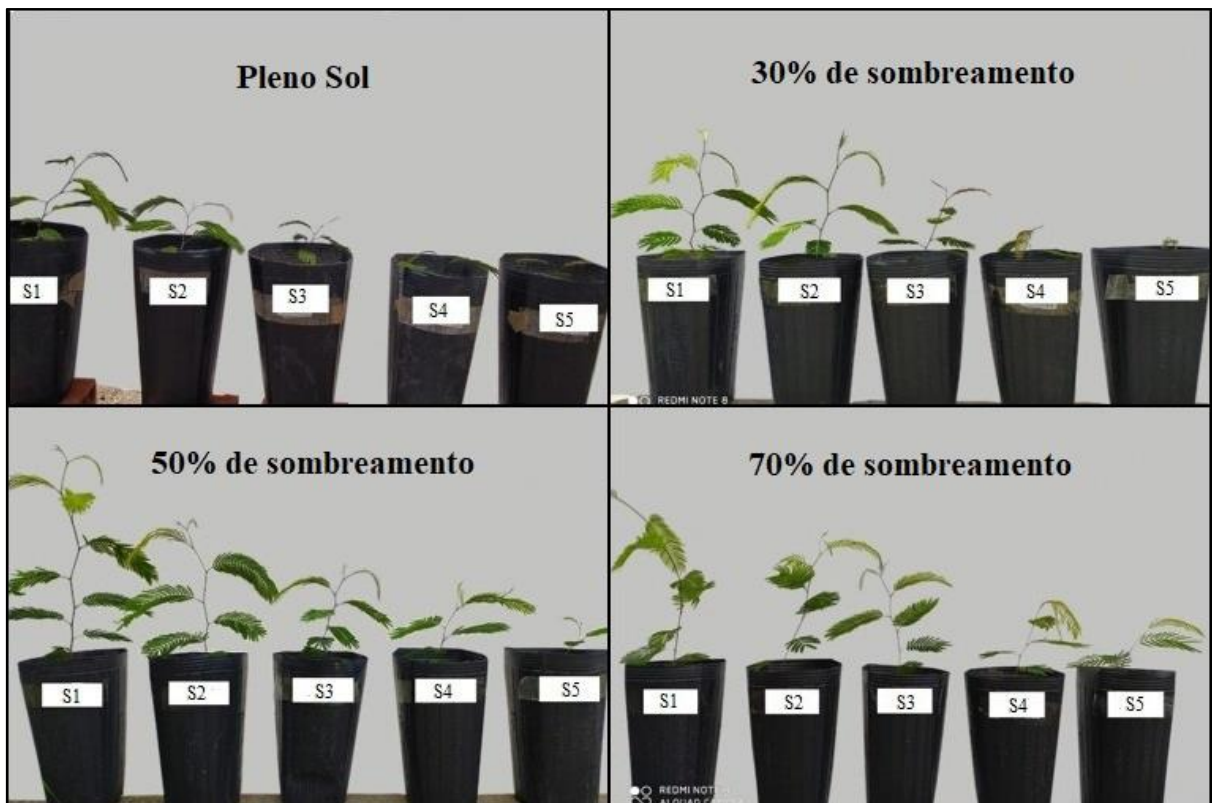
As reduções relativas comparando os tratamentos de menor e maior salinidade foram de 52,3%, 70,8%, 51,7% e 45,2% para os ambientes a pleno sol, 30%, 50% e 70% de sombreamento, respectivamente. Nota-se que houve uma redução mais acentuada nas médias de altura com relação à salinidade no ambiente com 30% de sombreamento, onde fica mais evidente a interação entre os efeitos dos tratamentos, evidenciando que o sombreamento de 30% ainda não é o suficiente para neutralizar os efeitos nocivos da salinidade.

Figura 14 – Altura das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2020

Figura 15 – Aspectos gerais do crescimento das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento (pleno sol, 30%, 50% e 70%) e salinidade da água de irrigação (S1- 0,4 dS.m⁻¹, S2- 1,6 dS.m⁻¹, S3- 2,8 dS.m⁻¹, S4- 4,0 dS.m⁻¹ e S5- 5,2 dS.m⁻¹) aos 30 dias após o início da aplicação dos tratamentos salinos



Fonte: Autoria própria, 2020

O aumento dos níveis de condutividade elétrica da água de irrigação associados à intensa exposição à radiação solar provocou a inibição do crescimento em altura das plantas, devido à intensificação dos efeitos negativos que ambos os fatores exercem, já que a imposição de fatores estressantes adicionais como é o caso da salinidade, durante a exposição das plantas à alta irradiância, agravam os efeitos adversos da luz (Long *et al.*, 1994). Porém, o excesso de radiação no ambiente a pleno sol já limita de forma considerável o crescimento das mudas de angico.

As maiores médias de alturas observadas nos ambientes com maiores níveis de sombreamento (Figura 14; Figura 15) estão associadas à baixa radiação incidente, garantindo um maior crescimento de plantas devido ao alongamento de suas células, proporcionando uma maior área fotossintética quando comparadas a plantas a pleno sol (TAIZ *et al.*, 2017). Geralmente, este maior crescimento em altura em ambientes sombreados é atribuído ao fenômeno do estiolamento, como forma de escapar do déficit de luz, buscando um melhor aproveitamento da baixa intensidade luminosa. Porém, esta possibilidade é descartada quando são analisados os dados de diâmetro do caule, número de folhas e produção de biomassa, visto que o maior crescimento em altura não comprometeu a alocação do carbono para o aumento dessas variáveis, levando à conclusão de que o maior crescimento em condições de sombreamento foi em função do desenvolvimento das plantas. Dessa forma, as temperaturas mais amenas proporcionadas pelos ambientes com maiores níveis de sombreamento favoreceram o status hídrico das plantas, possibilitando uma melhoria da sua atividade fotossintética e da turgescência, parâmetros que são necessários ao seu crescimento (PACHECO *et al.*, 2013).

Em relação aos níveis salinos, a redução dos valores de altura das plantas pode ter sido causada pelo fechamento estomático ocasionado pelo efeito osmótico dos sais da água de irrigação, como forma de reduzir as perdas de água por transpiração, à vista disso a absorção de água é reduzida, restringindo a capacidade fotossintética da planta e a absorção de CO₂, consequentemente limitando o seu desenvolvimento (TAIZ *et al.*, 2017; KUMAR *et al.*, 2018). Porém, reduções no crescimento podem ser decorrentes também de alterações nas paredes celulares, as quais inibem a expansão celular sob condições de estresse hídrico ou osmótico (SILVEIRA *et al.*, 2016).

Outro fator que pode ter contribuído para a redução das médias de altura nas plantas sob maiores níveis de salinidade é a toxidez pelos íons Na⁺ e Cl⁻, promovendo desequilíbrio nutricional. Isto se deve ao fato de que o desenvolvimento de mudas de espécies arbóreas está diretamente relacionado à presença de elementos químicos que são essenciais ao metabolismo

vegetal, porém, com o incremento da salinidade há a competição na absorção e transporte desses elementos, causando decréscimos em parâmetros de crescimento, como a altura da planta (ARAÚJO *et al.*, 2018).

Corroborando com os resultados obtidos, Lenhard *et al.*, (2013) ao avaliarem o crescimento de mudas de *Cesalpinia ferrea* sob diferentes níveis de sombreamento, constataram que o ambiente com 50% de interceptação da radiação solar proporcionou plantas com maiores médias em altura, enquanto que as plantas que estavam a pleno sol apresentaram menor porte. Resultados semelhantes também foram encontrados por Silveira *et al.*, (2020) que ao estudarem o desenvolvimento do angico sob diferentes níveis de sombreamento observaram maior crescimento em altura de plantas que estavam sob maiores níveis de retenção da radiação solar, enquanto que no ambiente a pleno sol foram observadas as menores médias dentre todos os ambientes estudados.

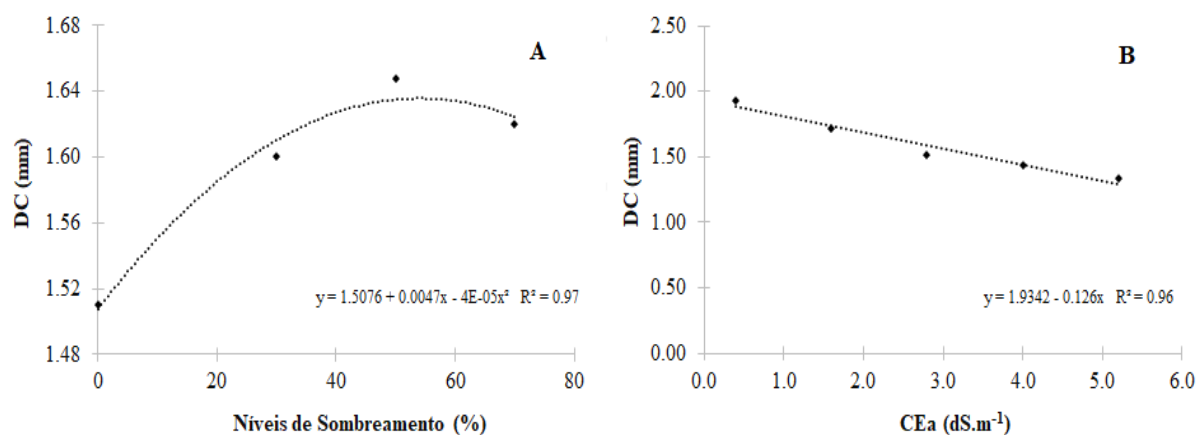
Em relação aos efeitos da salinidade, Lima *et al.*, (2018b) encontraram maiores valores de altura de plantas de *Hazel sterculia* sob condições de 50% de sombreamento quando comparadas com ambiente a pleno sol mesmo sob altos níveis de salinidade ($5,1 \text{ dS.m}^{-1}$), o que foi evidenciado no presente estudo com mudas de *Anadenanthera colubrina* (Figura 14; Figura 15). Os autores afirmam que as mudas desenvolvidas sobre esse nível de sombreamento apresentam maior potencial para desenvolvimento e sobrevivência em condições de campo.

6.2.2 Diâmetro do caule

Para o diâmetro do caule com relação aos efeitos isolados do sombreamento, as médias se ajustaram a regressões polinomiais quadráticas evidenciando um acréscimo com o aumento dos níveis de retenção da radiação solar até o nível de 50% de sombreamento (Figura 16 A). As plantas que estavam no ambiente de 50% apresentaram as maiores médias, com diâmetro 8,5% superior às que estavam no ambiente a pleno sol, que apresentaram os menores valores observados. Ao derivar a equação da curva, observou-se que o ponto máximo de sombreamento para obter o maior valor de diâmetro do caule foi de 58,7%.

Em relação aos efeitos isolados da salinidade, foram verificadas respostas lineares decrescentes apresentando decréscimos nas médias de diâmetro do caule com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 16 B). Ao serem submetidas aos tratamentos com salinidade, as mudas de *Anadenanthera colubrina* apresentaram decréscimos de 0,126 mm para cada aumento da condutividade elétrica da água de irrigação.

Figura 16 – Diâmetro do caule das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)



Fonte: Autoria própria, 2020

O maior valor de diâmetro do caule observado no ponto de 58,7% aponta que nesta condição a fotossíntese e a transpiração se encontram em um balanço favorável, indicando também que sob condições de pleno sol, a alta incidência de luz pode ter afetado negativamente a fotossíntese (BRITO; BEZERRA, 2016). Além disso, os menores valores de diâmetro no ambiente a pleno sol e nos maiores níveis salinos também podem ser atribuídos à redução na turgescência das células ou da própria elasticidade da parede celular devido à baixa absorção de água, o que reduz a expansão das células, refletindo no crescimento de diferentes órgãos da planta, como o caule (COSGROVE, 1993). Neste ambiente há maior incidência de radiação solar, expondo diretamente as plantas a maiores temperaturas, onde há maior evaporação da água do substrato e possivelmente causando uma condição de déficit hídrico, enquanto que o uso de sombrites pode proporcionar condições mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas (SILVERIO *et al.*, 2020).

Os maiores valores de diâmetro do caule observados no ambiente com 58,7% de sombra são um indicativo de que não houve efeito do estiolamento nas mudas neste ambiente, visto que geralmente é observado o aumento da altura de plantas às custas do diâmetro do caule quando as plantas estão sob condições de sombra como mecanismo de escape à tais condições de forma à maximizar a aquisição de luz, sendo um indicativo de que o sombreamento realmente favorece o desenvolvimento das mudas de *Anadenanthera colubrina* (PINTO *et al.*, 2016).

Respostas similares foram observadas por Mota *et al.* (2013) que ao avaliarem o efeito do sombreamento no crescimento inicial de mudas de angico também verificaram maiores valores de diâmetro do caule nos ambientes com maiores intensidades luminosas,

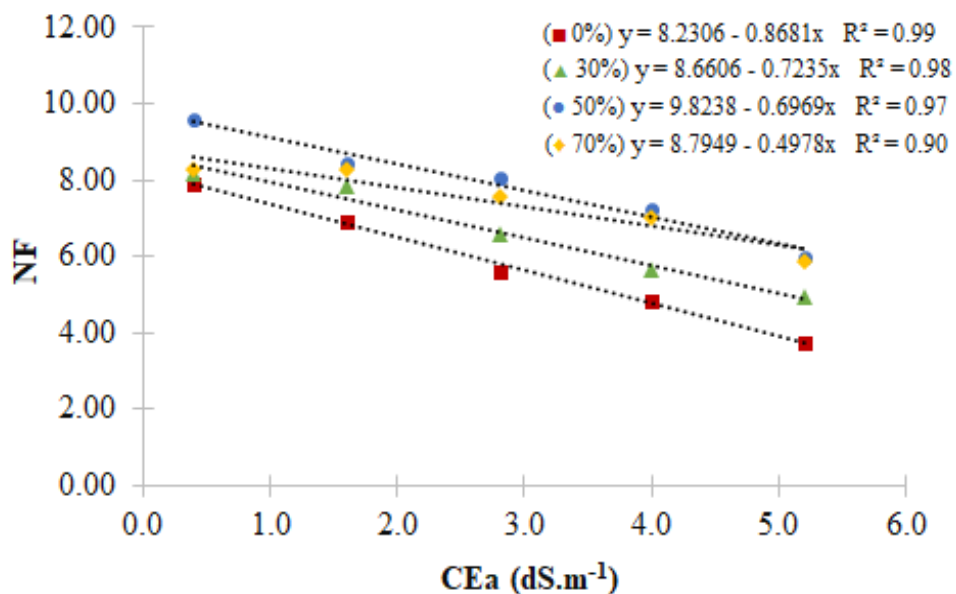
sendo o ambiente com 50% com maiores valores de médias, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo. Silverio *et al.* (2020) também observaram maiores valores de diâmetro do caule de mudas de *Campomanesia xanthocarpa* em ambiente com 50% de sombreamento quando comparados às plantas que se desenvolveram sob pleno sol.

O incremento nos níveis de salinidade, ao reduzir a absorção de água pelas raízes e induzir o fechamento estomático como mecanismo inicial de tolerância ao estresse, afeta os processos de crescimento das plantas ao longo do seu ciclo, refletindo em parâmetros como o diâmetro do caule (TAIZ *et al.*, 2017). Os resultados obtidos são semelhantes aos observados por Ferreira *et al.* (2021) que constataram reduções nos valores de diâmetro do caule de mudas de *Pityrocarpa moniliformis* quando irrigadas com águas salobras, sendo o nível de $0,5 \text{ dS.m}^{-1}$ o que apresentou mudas com as maiores médias.

6.2.3 Número de folhas

O número de folhas foi influenciado significativamente pelo efeito da interação sombreamento x salinidade, apresentando respostas lineares decrescentes em todos os ambientes estudados com o aumento dos níveis salinos (Figura 17).

Figura 17 – Número de folhas das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2020

O ambiente com 50% de sombreamento apresentou o maior número de folhas dentre todos os ambientes estudados, mesmo com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, evidenciando valores médios de 8 folhas por planta, enquanto os menores valores observados foram no ambiente a pleno sol, com média de 6 folhas por planta.

Quando irrigadas com água salobra, as plantas foram expostas aos efeitos deletérios dos sais, apresentando valores médios de 8 folhas por planta quando submetidas ao tratamento de menor nível de salinidade ($0,4 \text{ dS.m}^{-1}$) enquanto no maior nível salino ($5,2 \text{ dS.m}^{-1}$) foram observados valores médios de 5 folhas por planta. Calculando os percentuais de redução comparando os tratamentos de menor e maior salinidade, obteve-se perdas de 52,65%, 39,78%, 37,36% e 28,61% para os ambientes a pleno sol, 30%, 50% e 70% de sombreamento, respectivamente, evidenciando que o estresse salino foi menos pronunciado nos ambientes com maiores níveis de sombreamento, devido à redução do estresse luminoso.

Este comportamento das plantas nos ambientes mais sombreados pode ser considerado um mecanismo de adaptação às condições impostas pelo ambiente, como forma a maximizar a captação da luz incidente, aumentando a eficiência fotossintética da planta (GOBBI *et al.*, 2011). Em relação à salinidade, é provável que o baixo número de folhas observado nos maiores níveis salinos para todos os ambientes estudados seja em função do efeito osmótico em decorrência dos sais da água de irrigação, afetando a disponibilidade de água para as plantas e causando limitações no seu crescimento e desenvolvimento.

Tais resultados corroboram com os obtidos por Ferreira *et al.* (2012) que ao estudar o crescimento inicial de mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento observaram uma maior quantidade de folhas em plantas cultivadas em ambiente sob 50% de sombreamento, tendo médias similares às do ambiente com 70% de sombreamento, enquanto que no ambiente a pleno sol foram observadas as menores médias. Valadão *et al.*, (2014) também observaram um melhor padrão de resposta de mudas de *Physocalymma scaberrimum* aos níveis de sombreamento intermediários, sendo o de 50% o que apresentou o maior número de folhas.

Em relação à salinidade, Lima *et al.* (2015) observaram reduções no número de folíolos de plântulas de *Albizia* irrigadas com águas salobras, onde o maior número foi obtido no menor nível de salinidade estudado ($0,68 \text{ dS.m}^{-1}$), enquanto que a partir da aplicação de $1,5 \text{ dS.m}^{-1}$ foram observadas reduções com o aumento da concentração de sais na água de irrigação.

6.3 Trocas gasosas foliares

As variáveis fotossíntese (A) e eficiência de carboxilação ($A.Ci^{-1}$) foram influenciadas significativamente pelo efeito da interação sombreamento x salinidade. Todas as variáveis apresentaram significância para o fator sombreamento isoladamente com exceção da eficiência intrínseca de carboxilação ($A.Ci^{-1}$) e para o fator salinidade, apenas a eficiência momentânea do uso da água não apresentou diferenças estatísticas significativas (Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo das análises de variância referentes aos dados de temperatura foliar (TF), condutância estomática (gs), fotossíntese líquida (A), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (Ci), eficiência momentânea do uso da água ($A.E^{-1}$), eficiência intrínseca do uso da água ($A.gs^{-1}$), eficiência de carboxilação ($A.Ci^{-1}$) de mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio							
		TF	gs	A	E	Ci	$A.E^{-1}$	$A.gs^{-1}$	$A.Ci^{-1}$
Blocos	3	35,31 ^{ns}	0,015 [*]	11,71 ^{ns}	4,95 ^{**}	2146,8 [*]	5,06 [*]	791,77 ^{**}	0,0001 ^{ns}
Sombreamento (A)	3	1,94 ^{**}	0,032 ^{**}	72,44 ^{**}	16,13 ^{**}	5065,5 ^{**}	5,639 [*]	2110,9 ^{**}	0,0006 ^{ns}
Resíduo (a)	9	0,27	0,002	10,05	0,367	322,4	1,062	112,22	0,00022
Salinidade (B)	4	1,82 ^{**}	0,063 ^{**}	152,5 ^{**}	26,06 ^{**}	3316,1 ^{**}	2,78 ^{ns}	1905,2 ^{**}	0,0017 ^{**}
Interação (AxB)	12	0,063 ^{ns}	0,006 ^{ns}	43,82 [*]	1,556 ^{ns}	496,79 ^{ns}	0,57 ^{ns}	285,81 ^{ns}	0,0009 ^{**}
Resíduo (b)	48	0,233	0,006	19,09	1,601	644,4	1,946	337,05	0,0003
CV (%) A		1,51	21,21	18,97	12,34	7,36	28,5	12,84	21,86
CV (%) B		1,39	35,37	26,15	25,74	10,41	38,5	22,25	26,86

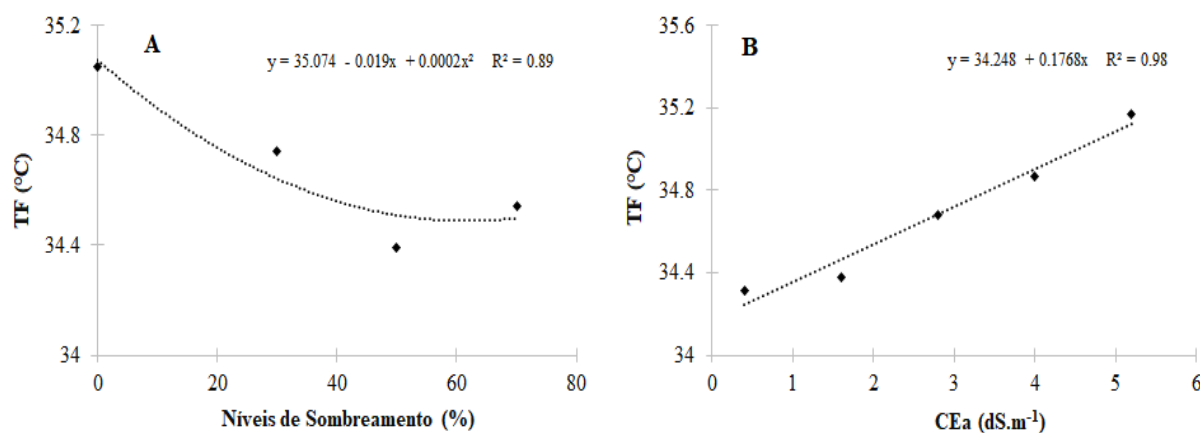
NS – não significativo; * e ** - significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

6.3.1 Temperatura foliar

A temperatura foliar foi influenciada significativamente pelos efeitos isolados dos fatores sombreamento x salinidade. Observou-se um ajuste quadrático das médias com o aumento dos níveis de sombreamento (Figura 18 A), com os menores valores de temperatura foliar observados com 47,5% de sombreamento.

Com relação à salinidade, as médias ajustaram-se a um modelo linear crescente, evidenciando que a temperatura foliar aumentou nas plantas que estavam submetidas aos maiores níveis de condutividade elétrica (Figura 18 B). Os maiores valores de temperatura foram observados no maior nível salino (5,2 dS.m⁻¹) com 35,2 °C, enquanto que os menores foram obtidos no tratamento testemunha (0,4 dS.m⁻¹) com 34,4 °C.

Figura 18 – Temperatura foliar (*TF*) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)



Fonte: Autoria própria, 2020

O comportamento da temperatura foliar sob os diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação tem relação direta com a transpiração, que é o principal mecanismo envolvido na regulação da temperatura foliar. Com a redução da transpiração nos ambientes com maior incidência de radiação solar devido às limitações estomáticas, há o aumento da temperatura dos tecidos foliares. Da mesma forma ocorre com o aumento da condutividade elétrica da água, que ocasiona o fechamento estomático em decorrência da baixa disponibilidade de água para a planta em função do efeito osmótico, acarretando o fechamento estomático com consequente redução da transpiração, ocasionando o aumento da temperatura foliar (SOUSA *et al.*, 2012).

A associação de fatores como altas temperaturas foliares juntamente com o estresse salino podem reduzir drasticamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, visto que a assimilação de CO₂ está diretamente relacionada com boa disponibilidade hídrica, que é afetada pela alta exposição à radiação solar e pelo efeito osmótico do sal, comprometendo inclusive o estabelecimento das plantas na sua fase inicial de desenvolvimento (MORAIS *et al.*, 2017).

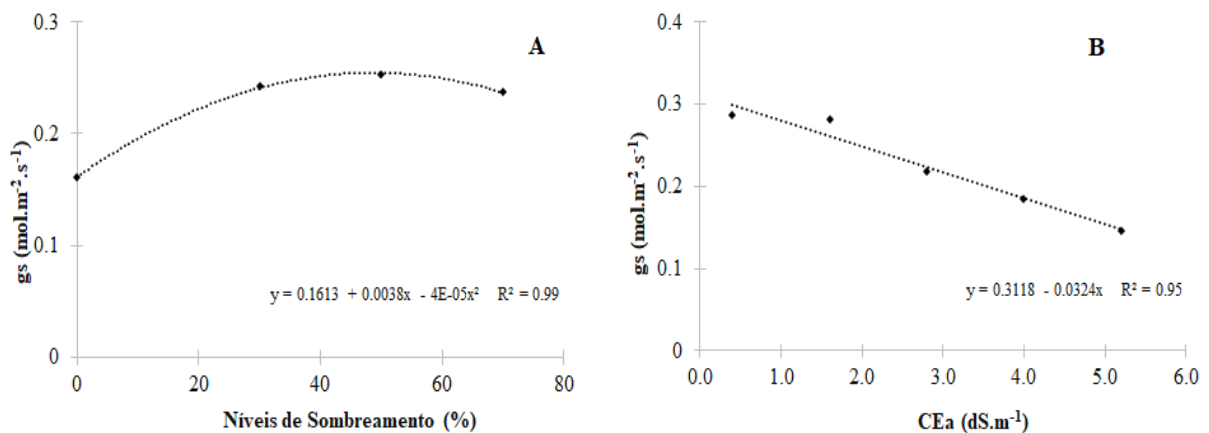
Além disso, em locais com limitação de água o fechamento dos estômatos reduzem a capacidade de resfriamento evapotranspirativo das folhas, aumentando o estresse térmico na folha, culminando no aumento da temperatura foliar (ENGINEER *et al.*, 2016; FIGUEIREDO *et al.*, 2019). Os autores citados anteriormente ressaltam que o estresse térmico associado com o déficit hídrico e o aumento das temperaturas pode comprometer seriamente o desenvolvimento de plantas que estão sob estas condições.

6.3.2 Condutância estomática (*gs*)

Em relação aos níveis de sombreamento, observou-se um ajuste quadrático das médias, onde observaram-se maiores valores de condutância estomática nos ambientes com menores níveis de radiação solar incidentes (Figura 19 A). As menores taxas de condutância estomática foram observadas no ambiente a pleno sol ($0,16 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), indicando que as plantas desse ambiente estavam sujeitas a condições mais estressantes, enquanto que obteve-se o valor máximo de condutância estomática com 47,5% de sombreamento.

Em relação à ao fator salinidade isoladamente (Figura 19 B) observa-se que com o aumento da salinidade da água de irrigação houve uma resposta linear decrescente, observando-se menor abertura estomática no maior nível de salinidade ($5,2 \text{ dS.m}^{-1}$). A taxa de redução da condutância estomática foi de $0,0324 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por unidade de dS.m^{-1} de condutividade elétrica.

Figura 19 – Condutância estomática das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)



Fonte: Autoria própria, 2020

É possível observar que o comportamento da condutância estomática foi similar aos da temperatura foliar, demonstrando sensibilidade da *gs* com o aumento da temperatura. Uma vez que a temperatura está diretamente relacionada com o déficit de pressão de vapor, à medida que a temperatura aumenta, a *gs* diminui. Esse comportamento pode ser explicado devido ao fato de que os ambientes mais sombreados tendem a ser mais úmidos, já que a superfície do substrato sofre menos com a evaporação quando comparados com o pleno sol, o que mantém os estômatos abertos por mais tempo, visto que a resposta estomática também relaciona-se à dinâmica hídrica da planta (FREITAS *et al.*, 2020).

Já o aumento da concentração de sais na solução do solo ocasionou uma redução no potencial hídrico do solo, comprometendo a absorção de água pelas raízes e ocasionando o fechamento estomático como mecanismo de tolerância ao estresse, uma vez que reduz as perdas de água (SILVA *et al.*, 2014). Ao reduzir a transpiração, o fechamento estomático também regula a entrada de água na planta, diminuindo a absorção de íons tóxicos como Na^+ e Cl^- reduzindo dessa forma, a toxicidade por íons específicos (FLOWERS; FLOWERS, 2005). Nogueira *et al.* (2018) ressaltam que a variação da temperatura influencia a resposta das espécies à salinidade, sendo os efeitos do estresse salino potencializados pelas altas temperaturas.

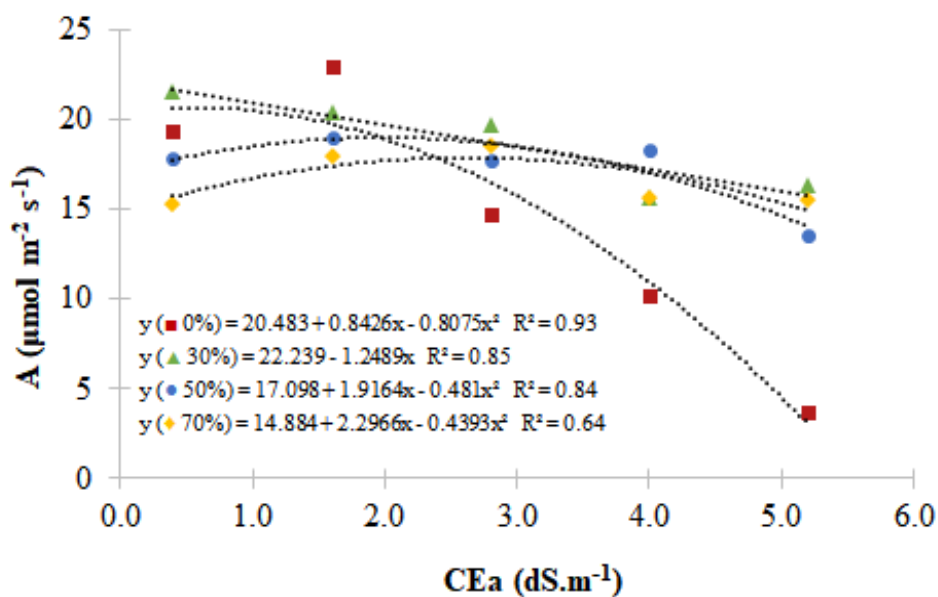
Dessa forma, as altas temperaturas juntamente com a baixa disponibilidade de água no solo em função do aumento da concentração de sais, aumentam o efeito do déficit de pressão de vapor consequentemente acarretando o fechamento estomático, minimizando as perdas de água (SANTOS *et al.*, 2017). Os autores supracitados mencionam ainda que na maioria das plantas C3, o fechamento estomático é associado a altos valores de déficit de pressão de vapor (DPV), especialmente quando se desenvolvem em ambientes com baixa disponibilidade de água no solo. Assim, essas limitações na condutância estomática podem proteger as plantas, evitando a perda excessiva de água e possibilitando a sua sobrevivência em condições de estresse (URBAN *et al.*, 2017). Logo, para que ocorra a abertura dos estômatos para a captura de CO_2 suficiente para o desenvolvimento da planta, é necessário um suprimento adequado de água para repor a que é perdida por meio da transpiração (LAWSON; MATTHEWS, 2020).

Valores baixos de g_s também podem limitar a fotossíntese devido à restrição da difusão de CO_2 nas plantas, que quando submetidas a longos períodos de estresse pode ocasionar reduções no rendimento e na produção de biomassa, explicando as reduções discutidas anteriormente (LAWSON; MATTHEWS, 2020). Os autores anteriormente citados mencionam ainda que a resistência estomática à difusão de CO_2 pode limitar as taxas fotossintéticas em até 20% em plantas C3.

6.3.3 Fotossíntese líquida (A)

As taxas fotossintéticas foram influenciadas pela associação dos efeitos da radiação solar e da salinidade. O desdobramento da interação entre ambos os fatores indicou um ajuste quadrático das médias nos ambientes a pleno sol, 50% e 70% de sombreamento quando submetidas à condições crescentes de salinidade, enquanto que o ambiente com 30% de sombreamento se ajustou a um modelo linear decrescente (Figura 20).

Figura 20 – Taxas de fotossíntese líquida das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2020

De forma geral, observaram-se reduções das taxas fotossintéticas em todos os ambientes com o aumento dos níveis de salinidade. Evidenciaram-se reduções mais acentuadas a pleno sol devido à ação mais depressiva da combinação entre os fatores analisados, apresentando reduções mais intensas quando comparado com os demais ambientes, apresentando valor médio de fotossíntese líquida de $14,2 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sendo o menor observado dentre os demais.

Ao derivar as equações das curvas de regressão obteve-se os valores de 0,52, 1,99 e $2,61 \text{ dS.m}^{-1}$ para os ambientes a pleno sol, 50% e 70% de sombreamento respectivamente, evidenciando que o estresse luminoso acentua o efeito do estresse salino, reduzindo drasticamente as taxas de fotossíntese das mudas que estavam a pleno sol, enquanto as mudas que estavam sob maiores níveis de sombreamento foram mais tolerantes ao aumento da condutividade elétrica da água de irrigação. Em relação aos níveis salinos, observaram-se valores médios de $18,54$ e $12,31 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ entre o menor e o maior nível de salinidade, respectivamente, expressando redução de 33,6%.

O desempenho fotossintético é altamente influenciado pelos efeitos indiretos de altas temperaturas. Em geral, a taxa fotossintética aumenta com a temperatura até um pico, que logo é seguido por um declínio. A redução da taxa fotossintética devido ao aumento da temperatura se dá tanto pela inibição da atividade das enzimas fotossintéticas quanto por limitações na condutância estomática, visto que o aumento da temperatura pode levar ao

aumento do déficit de pressão de vapor (TAN *et al.*, 2017). As reduções observadas na concentração interna de CO₂ nos ambientes menos sombreados e nos maiores níveis de salinidade evidenciam a existência de limitações estomáticas, consequentemente ocasionando reduções na taxa fotossintética (CAMPELO *et al.*, 2015).

Bhargava *et al.* (2012) observaram variações na resposta da fotossíntese à temperatura. Os autores mencionam que a hipótese de que a aclimação a baixas temperaturas pode ocasionar um aumento na capacidade das enzimas. Dessa forma, a atividade da RuBisCo pode diminuir com o aumento da temperatura.

O angico, quanto à sua rota de assimilação de CO₂ é considerado uma espécie C3, em que as plantas que possuem este mecanismo se adaptam melhor às condições de baixa luminosidade em relação às que possuem o metabolismo C4 ou CAM, explicando por que não houve reduções acentuadas nas taxas fotossintéticas das plantas que estavam em ambientes mais sombreados (TAIZ; ZEIGER, 2013).

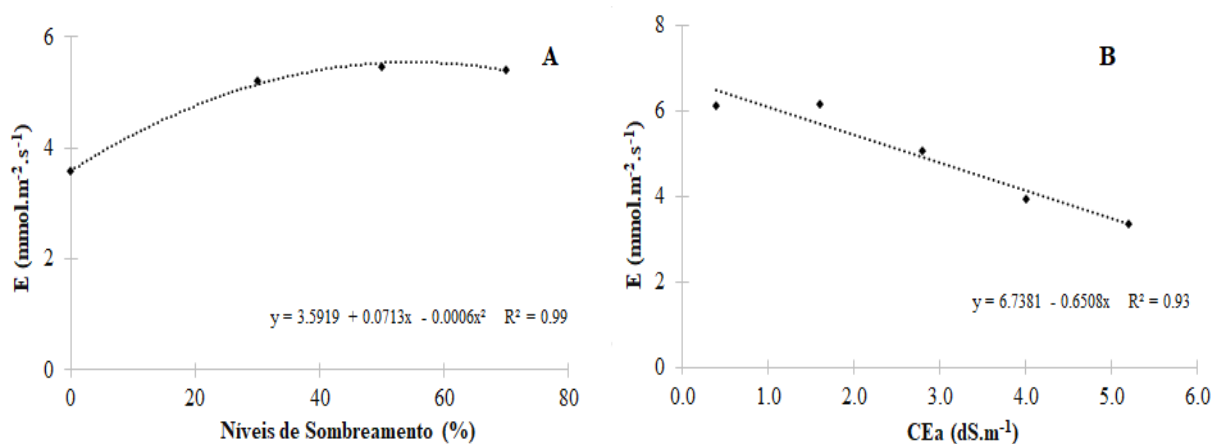
Em relação ao estresse salino, Silva *et al.* (2019) salientam que o aumento da salinidade pode ocasionar alterações significativas na taxa fotossintética, condutância estomática, taxa de transpiração e fixação de CO₂, devido à inibição da enzima RuBisCo, que é fundamental na assimilação de plantas C3, como o angico.

6.3.4 Transpiração (E)

Com relação ao sombreamento, evidenciou-se um comportamento quadrático com o aumento dos níveis de retenção da radiação solar (Figura 21 A). O valor máximo estimado de transpiração foi obtido com 59,4% de sombreamento.

Para a salinidade (Figura 21 B), as taxas transpiratórias reduziram linearmente com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, apresentando decréscimos de 0,65 mmol m⁻² s⁻¹ para cada aumento da condutividade elétrica da água de irrigação.

Figura 21 – Taxas de transpiração das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)



Fonte: Autoria própria, 2020

O comportamento da taxa transpiratória seguiu a mesma tendência da condutância estomática (Figura 19), evidenciando a redução da perda de água das plantas por meio do fechamento estomático, de acordo com as condições de disponibilidade hídrica.

O comportamento transpiratório de mudas sob diferentes intensidades de luz pode ser variável. Entretanto, em condições de boa disponibilidade hídrica, as plantas geralmente apresentam altas taxas transpiratórias, enquanto que, à medida que a água no solo vai se tornando escassa, a planta fecha os estômatos como forma de reduzir as perdas de água e economizar a que está disponível no solo, reduzindo também a taxa transpiratória, que foi o observado no presente estudo (SILVA *et al.*, 2015; FELSEMBURGH *et al.*, 2016).

Felsemburgh *et al.* (2016) obtiveram resultados semelhantes ao dessa pesquisa ao produzirem mudas de *Aniba parviflora* sob sombreamento artificial, onde observaram maiores taxas de transpiração nas plantas que estavam sob os maiores níveis de sombreamento, refletindo o status hídrico das plantas em tais ambientes.

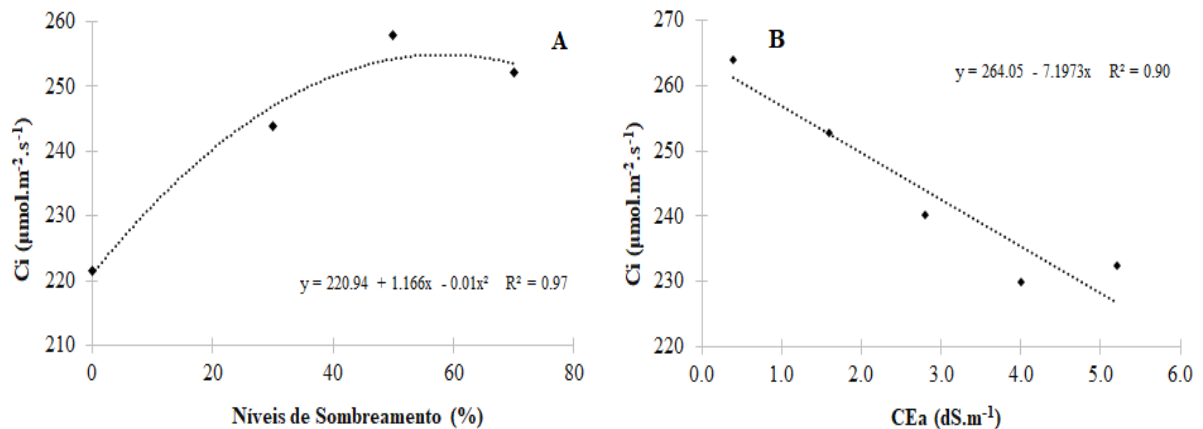
Com relação à salinidade, foram observadas reduções nas taxas de transpiração com o incremento dos níveis de salinidade. Essa redução se dá em decorrência do déficit hídrico ocasionado pelo efeito osmótico dos sais, visto que o suprimento de água para a planta é limitado, reduzindo a condutância estomática como forma de regular a quantidade de água absorvida pelas raízes como mecanismo de resposta às perdas de água, consequentemente diminuindo também a taxa transpiratória (FREIRE *et al.*, 2021).

6.3.5 Concentração interna de CO₂ (C_i)

Para a concentração interna de CO₂, observou-se um ajuste quadrático das médias com o aumento dos níveis de sombreamento (Figura 22 A). Ao derivar a equação da curva de regressão, obteve-se o ponto máximo de concentração interna de CO₂ com 58,3% de sombreamento.

No que se refere à salinidade, houveram reduções lineares nesta variável com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 22 B). Foram estimadas perdas de 6,83 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para cada incremento no nível de salinidade.

Figura 22 – Concentração interna de CO₂ das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)



Fonte: Autoria própria, 2020

Os menores valores de *C_i* observados nos ambientes com maiores níveis de radiação solar podem ser atribuídos à limitações estomáticas ocasionadas pelo aumento na temperatura foliar. Observa-se que o incremento nos valores da concentração interna de CO₂ são acompanhados por um aumento na condutância estomática, indicando que a principal restrição do desempenho fotossintético seria a limitação estomática, visto que quanto maior a abertura dos estômatos, maior a difusão de CO₂ para o seu interior, porém, maior o gradiente da perda de água por transpiração (SILVA *et al.*, 2015).

Dessa forma, é possível inferir que com o aumento da perda de água em virtude do maior déficit de pressão de vapor (DPV) nos ambientes que recebem maior radiação solar, também ocorre redução na assimilação do CO₂ atmosférico, devido ao fechamento estomático, consequentemente reduzindo as taxas fotossintéticas. Assim, com o aumento da resistência estomática, a tendência das mudas é reduzir a quantidade de carbono nas células foliares.

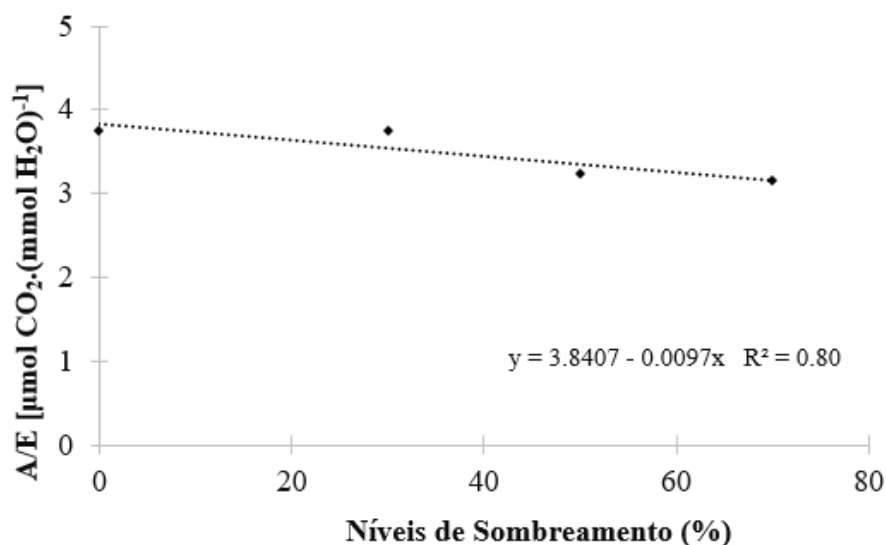
Analisando os dados de salinidade, os maiores valores de C_i foram observados nos menores níveis de salinidade e diminuíram gradualmente com o aumento da concentração de sais na água de irrigação. As taxas de assimilação líquida de CO_2 tendem a reduzir quando há limitação estomática, diminuindo a absorção de CO_2 pelas folhas. Esse comportamento da condutância estomática foi influenciado pela menor absorção de água pelas plantas induzida pelo efeito osmótico dos sais, uma vez que sob condições de estresse, a planta tende a fechar os estômatos pra reduzir as perdas de água (TAIZ *et al.*, 2017).

Assim, o efeito osmótico impacta os aspectos fisiológicos das plantas, onde a atividade estomática é afetada por esses estresses ambientais, influenciando a absorção de CO_2 , impactando assim a atividade fotossintética e o crescimento das plantas, o que irá refletir na eficiência do uso da água (OSAKABE *et al.*, 2014). Kerbauy *et al.* (2008) salientam ainda que as plantas tipo C3 são limitadas a assimilar CO_2 em condições hídricas adversas.

6.3.6 Eficiência momentânea do uso da água ($A.E^{-1}$)

A eficiência momentânea do uso da água apresentou um ajuste linear decrescente com o aumento dos níveis de sombreamento (Figura 23). Verifica-se que as plantas que estavam a pleno sol foram mais eficientes, apresentando 25,8% a mais de aproveitamento da água quando comparadas com as plantas do maior nível que sombreamento (70%), que apresentaram as menores médias.

Figura 23 – Eficiência momentânea do uso da água ($A.E^{-1}$) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento



Fonte: Autoria própria, 2020

Estes resultados se devem ao fato de que a radiação solar influencia a ação estomática, principalmente a intensidade luminosa e a temperatura. Dessa forma, plantas submetidas aos maiores níveis de radiação solar sofrem maior influência do déficit de pressão de vapor (DPV) que atua como indicador de equilíbrio térmico entre a planta e o meio externo (TURNER, 1974), levando ao fechamento estomático para reduzir as perdas de água, consequentemente aumentando a eficiência do uso da água. Pompelli *et al.* (2010) afirmam que este incremento nos valores de eficiência no uso da água é justificado pelo fato de que o fechamento estomático afeta mais a saída da molécula de água do que a quantidade de CO₂ fixado.

Os maiores valores de eficiência do uso da água nos ambientes com maior incidência de radiação solar ocorrem em decorrência da baixa disponibilidade hídrica presente no solo salino, influenciando no fechamento estomático para reduzir a transpiração (SANTOS *et al.*, 2017).

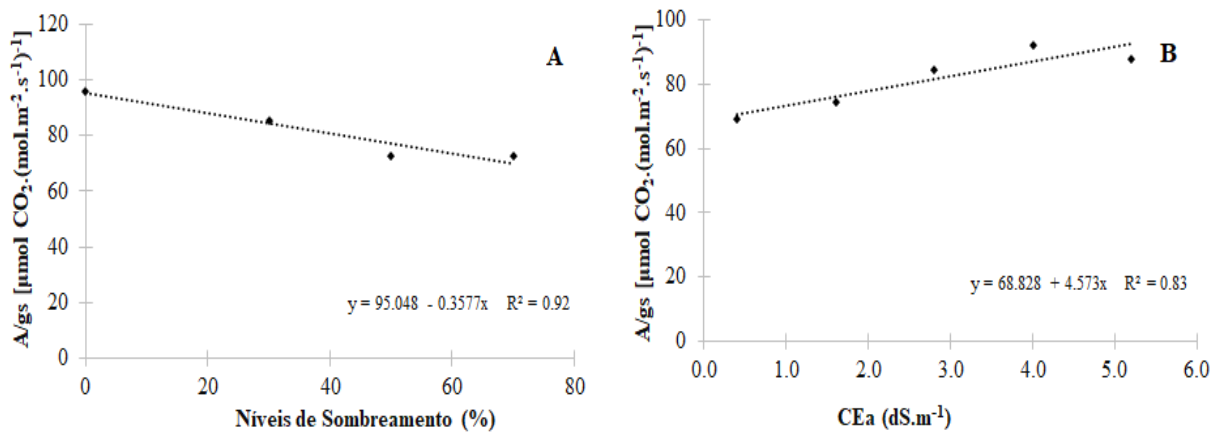
A maior condutância estomática observada nos ambientes mais sombreados também contribuiu para a redução dos valores de eficiência momentânea no uso da água nessas situações, uma vez que a g_s pode ter sido maior que o necessário para atingir a máxima absorção de CO₂ para a fotossíntese, consequentemente reduzindo os valores de $A.E^{-1}$ (LAWSON; MATTHEWS, 2020).

6.3.7 Eficiência intrínseca do uso da água ($A.g_s^{-1}$)

A eficiência intrínseca do uso da água reduziu substancialmente com o aumento dos níveis de sombreamento, adequando-se num modelo linear decrescente (Figura 24 A). Observa-se maiores valores no ambiente a pleno sol, com $95,8 \mu\text{mol CO}_2 \cdot (\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$, enquanto que as menores médias foram observadas no maior nível de sombreamento ($72,75 \mu\text{mol CO}_2 \cdot (\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$).

Foram observados acréscimos na eficiência intrínseca do uso da água com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 24 B). Estes acréscimos foram estimados em de $4,95 \mu\text{mol CO}_2 \cdot (\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ para cada aumento nos níveis salinos.

Figura 24 – Eficiência intrínseca do uso da água ($A.gs^{-1}$) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)



Fonte: Autoria própria, 2020

Com relação aos níveis de sombreamento, é possível observar que a relação $A.gs^{-1}$ foi superior nos ambientes com maiores níveis de radiação solar, em decorrência do fechamento estomático. Ghannoum *et al.* (2003) determinaram relações entre o mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos e os fatores do meio e da própria planta que exercem influência sobre ele, tais como luz e temperatura (LAWSON; MATTHEWS, 2020). Dessa forma, o excesso de radiação absorvido pela planta promove um aumento na sua temperatura, que juntamente com a alta irradiância ocasionam o fechamento estomático.

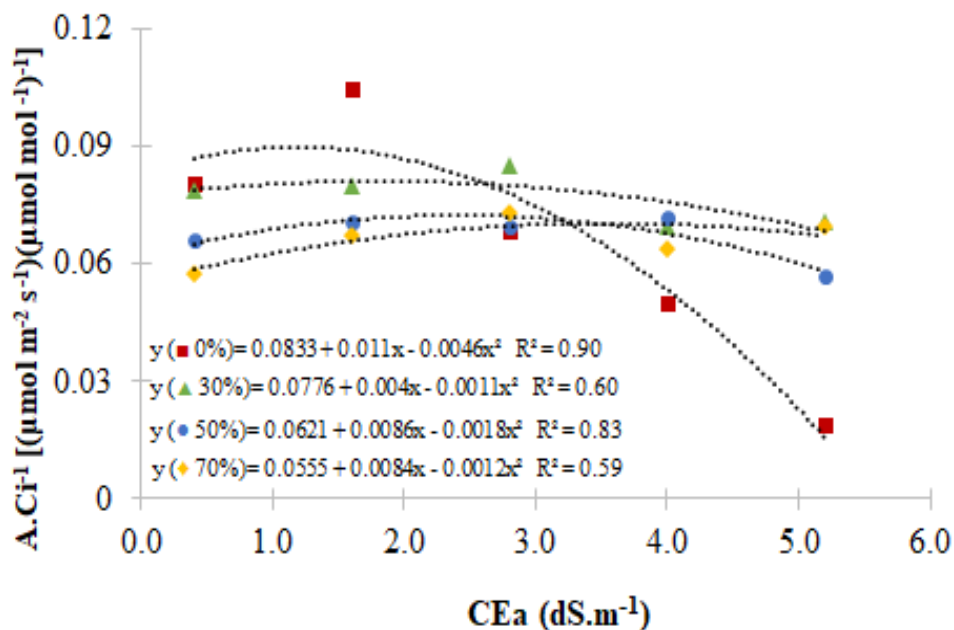
Já para as respostas obtidas para o fator salinidade, observa-se que as médias se ajustaram a um modelo linear decrescente à medida em que se eleva a concentração de sais da água de irrigação. Este comportamento pode ser justificado pelo fato de que a abertura e o fechamento estomático regulam as trocas gasosas foliares, onde sob condições estressantes diminuem a perda de água por meio do maior grau de fechamento dos estômatos e consequentemente a absorção de CO_2 é restringida. Dessa forma, as maiores eficiências intrínsecas no uso da água indicam que maior quantidade de CO_2 em detrimento da menor perda de água (TAIZ *et al.*, 2017). Na fase inicial de estresse por déficit de água, a condutância estomática decresce mais rápido do que a taxa de assimilação fotossintética (A), justificando os maiores valores de $A.gs^{-1}$ a pleno sol e nos maiores níveis de salinidade (CHAVES; OLIVEIRA, 2004).

Resultados semelhantes foram observados por Bessa *et al.*, (2017) que ao avaliarem a tolerância à salinidade de plantas nativas da Caatinga também observaram aumento linear na relação $A.gs^{-1}$ com o incremento dos níveis de salinidade.

6.3.8 Eficiência de carboxilação ($A.Ci^{-1}$)

Em relação à eficiência de carboxilação, a figura 25 evidencia os efeitos da interação entre os fatores sombreamento x salinidade. Em todos os ambientes, as médias adequaram-se à modelos polinomiais quadráticos com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação.

Figura 25 – Eficiência de carboxilação ($A.Ci^{-1}$) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2020

A eficiência de carboxilação foi reduzida em todos os níveis de sombreamento com o aumento da salinidade do solo. Foram observadas maiores reduções no ambiente a pleno sol, que apresentou as menores relações $A.Ci^{-1}$ observadas. A eficiência de carboxilação apresentou uma forte correlação com a fotossíntese em todos os níveis de salinidade estudados.

Ao derivar as equações de regressão dos ambientes estudados, obteve-se os valores de 1,19, 1,81, 2,38 e 3,5 dS.m⁻¹ para os ambientes pleno sol, 30%, 50% e 70% de sombreamento, respectivamente. Estes resultados indicam que as plantas que estavam expostas aos maiores níveis de radiação apresentaram maiores perdas de CO₂ com o aumento do estresse salino.

A figura 25 deixa evidente que o uso do sombreamento foi capaz de atenuar parcialmente os efeitos do estresse salino. Para os três sombrites utilizados, observa-se que houve uma boa eficiência de carboxilação mesmo com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, enquanto que no ambiente a pleno sol, a redução foi bem mais acentuada que

os demais. As maiores reduções observadas no ambiente a pleno sol podem indicar a possibilidade de inibição da enzima RuBisCo devido ao estresse térmico, o que também irá causar limitações bioquímicas na fotossíntese, diminuindo a eficiência de carboxilação (PERDOMO *et al.*, 2017).

Os valores elevados de concentração interna de CO₂ associados ao aumento na condutância estomática nos maiores níveis de sombreamento indicam uma maior eficiência instantânea de carboxilação, ocorrida em função da disponibilidade de ATP e NADPH e do substrato para a RuBisCo (SILVA *et al.*, 2015).

Resultados semelhantes foram observados por Andrade *et al.* (2019), onde observaram reduções da eficiência de carboxilação em clones de Eucalipto com o incremento dos níveis de salinidade, observando forte correlação com os dados de fotossíntese, o que também foi observado no presente estudo.

Reforçando as observações anteriores, Scalon *et al.* (2015) também verificaram reduções na eficiência instantânea de carboxilação em mudas de *Hancornia speciosa* em decorrência de limitações na atividade da enzima RuBisCo causadas por déficit hídrico. Os autores afirmam que após a redução da condutância estomática a eficiência de carboxilação é afetada, salientando que em condições de baixo potencial hídrico, com a diminuição da condutância estomática, a taxa de assimilação de CO₂ e a transpiração também são reduzidas.

Dessa forma, atribui-se as reduções das taxas fotossintéticas às limitações estomáticas associadas à baixa eficiência de carboxilação de CO₂ da RuBisCo. Santos *et al.* (2012) salientam que plantas submetidas a fatores estressantes simultaneamente sofrem alterações nas enzimas de carboxilação, podendo ocasionar decréscimos nas taxas fotossintéticas.

6.4 Produção de biomassa

Para a produção de biomassa, observa-se na análise de variância (Tabela 5) significância ao nível de 1% de probabilidade em todas as variáveis analisadas para ambos os fatores estudados isoladamente, sendo observada interação significativa para as variáveis biomassa seca de caule (BSC), biomassa seca de raízes (BSR), biomassa seca da parte aérea (BSPA) e biomassa seca total (BST).

Tabela 5 – Resumo das análises de variância referentes aos dados de biomassa seca de folhas (BSF), de caules (BSC), de raízes (BSR), da parte aérea (BSPA) e total (BST) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio				
		BSF	BSC	BSR	BSPA	BST
Blocos	3	1,331 ^{ns}	0,457 ^{ns}	0,501 ^{ns}	2,442 ^{ns}	3,994 ^{ns}
Sombreamento (A)	3	129,55 ^{**}	77,762 ^{**}	131,53 ^{**}	536,9 ^{**}	1107,2 ^{**}
Resíduo (a)	9	1,61	0,479	0,863	2,871	3,456
Salinidade (B)	4	128,87 ^{**}	47,815 ^{**}	76,416 ^{**}	333,30 ^{**}	746,5 ^{**}
Interação (AxB)	12	1,959 ^{ns}	3,485 ^{**}	1,604 ^{**}	7,844 ^{**}	11,63 ^{**}
Resíduo (b)	48	1,360	0,426	0,626	2,774	3,845
CV (%) A		17,22	22,43	15,38	16,22	11,37
CV (%) B		15,79	21,17	13,10	15,94	11,99

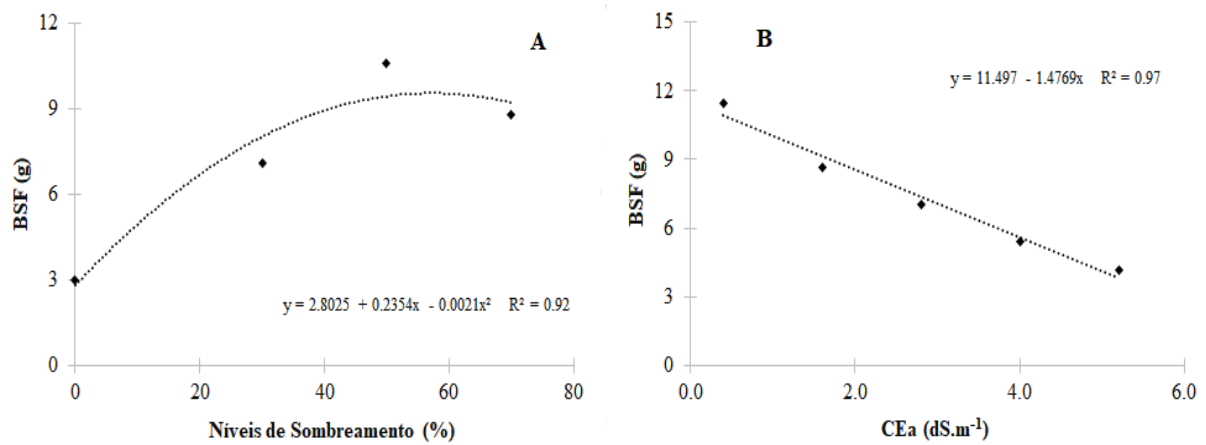
NS – não significativo; * e ** - significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

6.4.1 Biomassa seca de folhas

A biomassa seca de folhas foi influenciada pelos efeitos isolados dos tratamentos. Com relação aos níveis de sombreamento, os dados analisados ajustaram-se a um modelo polinomial quadrático (Figura 26 A). Ao derivar a equação da curva de regressão observou-se que o ponto máximo de sombreamento que proporcionou maiores valores de biomassa seca de folhas foi 56,05%.

Com relação aos efeitos do estresse salino, observou-se um comportamento linear decrescente à medida em que aumentaram os níveis de salinidade, com decréscimos de 1,48 g para cada aumento da condutividade elétrica da água de irrigação. (Figura 26 B).

Figura 26 – Biomassa seca de folhas (BSF) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento (A) e salinidade da água de irrigação (B)



Fonte: Autoria própria, 2020

Tal comportamento pode ser explicado pelos maiores valores de temperatura e radiação incidentes nos ambientes com menores níveis de sombreamento, o que causa a redução da água disponível para planta e também aumenta as perdas de água por transpiração, ocasionando diminuição na expansão celular e na expansão da superfície das folhas, como forma de reduzir as perdas de água, sendo uma das primeiras respostas da planta ao estresse. Com relação aos efeitos dos sais, a redução da produção de biomassa também é relacionada com a baixa disponibilidade de água para as plantas decorrente do efeito osmótico, uma vez que irá ocasionar um decréscimo na turgescência das plantas e, conseqüentemente afetando a expansão celular, refletindo diretamente no seu crescimento (FREITAS *et al.*, 2014).

Tendência semelhante também foi observada por Mota *et al.* (2012) para mudas de *Dipterix alata*, que apresentaram maior produção de biomassa quando submetidas ao sombreamento de 50%, enquanto que as mudas do ambiente a pleno sol apresentaram as menores médias dentre todos os ambientes estudados.

Lima *et al.* (2015) ao estudar o crescimento inicial de plantas de Albízia irrigadas com água salina também observaram reduções progressivas na produção de biomassa seca de folhas à medida em que houve o aumento dos níveis de salinidade da água de irrigação, verificando efeitos prejudiciais a partir de 1,5 dS.m⁻¹.

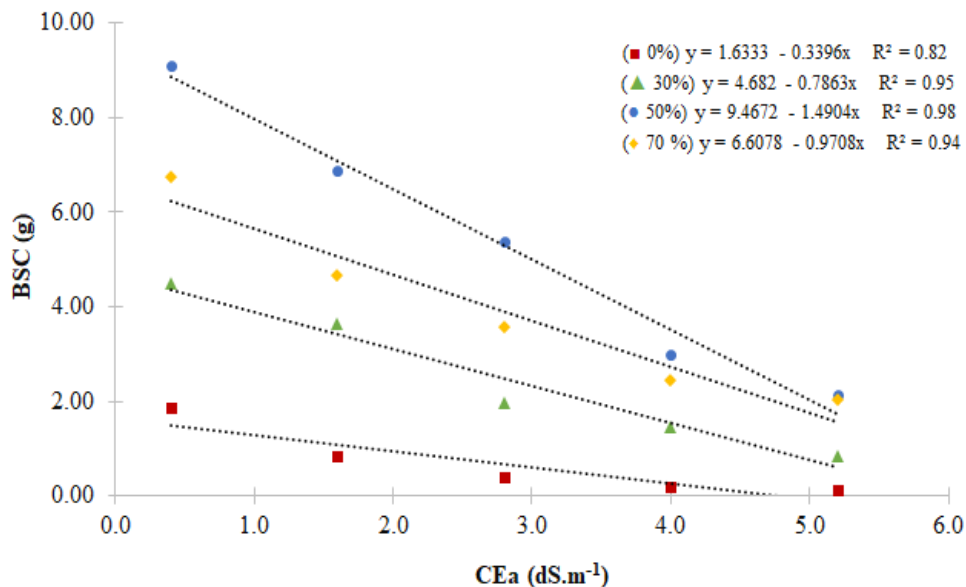
6.4.2 Biomassa seca do caule

Em relação à biomassa seca do caule, foi observado decréscimos acentuados em todos os ambientes com o incremento dos níveis de salinidade (Figura 27). Foram encontradas

reduções lineares de 27,9%, 49,1%, 68,1% e 76,7% para as salinidades de 1,6; 2,8, 4,0 e 5,2 dS.m⁻¹, respectivamente, com relação ao tratamento controle (0,4 dS.m⁻¹).

Em relação aos níveis de sombreamento, observou-se que os ambientes mais sombreados apresentaram maiores valores de biomassa seca do caule, sobressaindo-se com as maiores médias o ambiente com 50% de sombreamento, onde foram observados valores máximos de biomassa seca do caule de até 9,12 g, enquanto que os menores valores foram observados a pleno sol, com valores máximos de 1,85 g.

Figura 27 – Biomassa seca do caule (BSC) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2020

Assim como na variável altura de plantas, a biomassa seca do caule sofreu maiores reduções devido ao estresse salino nos ambientes com maiores níveis de sombreamento, por causa da redução do estresse luminoso sob as mudas. Nota-se que as plantas que estavam a pleno sol já apresentavam as menores médias de BSC, mesmo sem a aplicação do estresse salino devido ao excesso de radiação incidente.

As reduções observadas na produção de biomassa podem ser atribuídas pela redução da capacidade fotossintética devido ao comprometimento da absorção de CO₂ em função do fechamento estomático, refletindo diretamente no desenvolvimento da planta. Quando submetidas aos maiores níveis de radiação solar incidente, a disponibilidade de água no substrato é reduzida devido às altas temperaturas, causando limitações estomáticas, processo que é intensificado ainda mais pelo efeito osmótico dos sais da água de irrigação, acentuando o

efeito do estresse (TAIZ; ZEIGER, 2013), conforme constatado anteriormente nas variáveis biométricas.

Os resultados obtidos são semelhantes aos constatados por Felseburgh *et al.*, (2016) que ao avaliar as respostas ecofisiológicas de *Aniba parviflora* ao sombreamento também observaram maior acúmulo de matéria seca de raízes, caules e folhas para o nível de sombreamento de 50%. Similarmente, Reis *et al.* (2015) observaram maior acúmulo de matéria seca do caule em mudas de *Dilodendron bipinnatum* que estavam sobre níveis intermediários de sombreamento (50% e 70%), as quais apresentaram melhor desenvolvimento inicial, enquanto as plantas que estavam a pleno sol apresentaram os menores teores de biomassa.

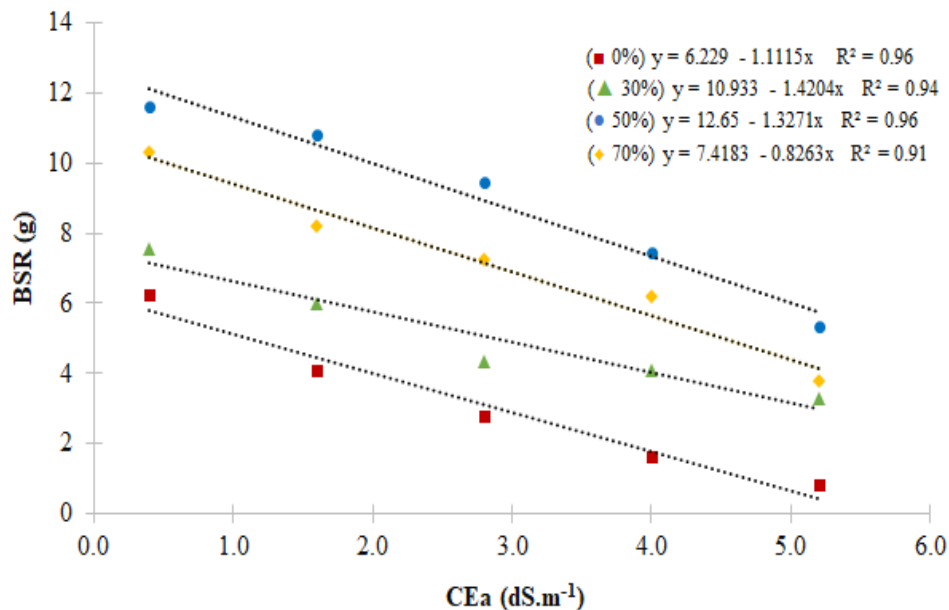
Em relação aos níveis salinos, Bezerra *et al.* (2020) observaram reduções no acúmulo de biomassa de plântulas de *Libidibia ferrea* quando irrigadas com diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. Os autores observaram decréscimo linear nos teores de biomassa seca do caule conforme aumentaram os níveis de salinidade.

6.4.3 Biomassa seca da raiz

Semelhante à biomassa seca do caule, a produção de biomassa seca de raízes também apresentaram reduções lineares em suas médias com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação (Figura 28).

Foram constatadas reduções percentuais de 18,27%, 33,2%, 47,1% e 65% para os níveis de condutividade elétrica da água de 1,6; 2,8; 4,0 e 5,2 dS.m⁻¹, respectivamente, quando comparados com o tratamento de menor salinidade (0,4 dS.m⁻¹). Em relação aos níveis de sombreamento, o resultado se assemelha aos observados anteriormente nas biomassas de folhas e caules, sendo o sombreamento de 50% o que proporcionou mudas com maior produção de matéria seca das raízes, chegando a apresentar valores máximos de 11,6 g, enquanto que no ambiente a pleno sol, que apresentou as menores médias, o maior valor observado foi de 6,3 g.

Figura 28 – Biomassa seca da raiz (BSR) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2020

Estes resultados são consistentes com os obtidos por Aimi *et al.* (2020) que ao avaliarem o crescimento de mudas de *Myrocarpus frondosus* sob diferentes condições de sombreamento observaram que o desenvolvimento das mudas foi reduzido quando expostas ao sol e que o sombreamento artificial foi favorável para o acúmulo de matéria seca nas raízes, consequentemente resultando em plantas mais vigorosas. Pagliarini *et al.* (2017) verificaram que o uso de telas de sombreamento com 50% de retenção da radiação solar favoreceu o acúmulo de matéria seca na raiz de mudas de *Hymenaea courbaril*, que se diferenciou estatisticamente dos demais tratamentos, sobretudo do ambiente a pleno sol. Valadão *et al.* (2014) também observaram comportamento semelhante em mudas de *Physocalymma scaberrimum* sob diferentes níveis de sombreamento, onde o nível de sombreamento de 50% apresentou valores significativamente maiores do que o ambiente a pleno sol para todos os parâmetros de biomassa avaliados.

Já com relação à salinidade, as raízes são os órgãos da planta que têm contato direto com os sais presentes no solo e precisam se adaptar para manter o crescimento e a absorção de água e nutrientes. Com o aumento da concentração de sais no solo a massa radicular é reduzida, afetando a taxa de crescimento da raiz principal e das raízes laterais e inibindo a formação da raiz lateral (ZELM *et al.*, 2020). Corroborando com os resultados obtidos, Lima *et al.* (2018b) observaram que o acúmulo de matéria seca em mudas de *Hazel sterculia* foi negativamente

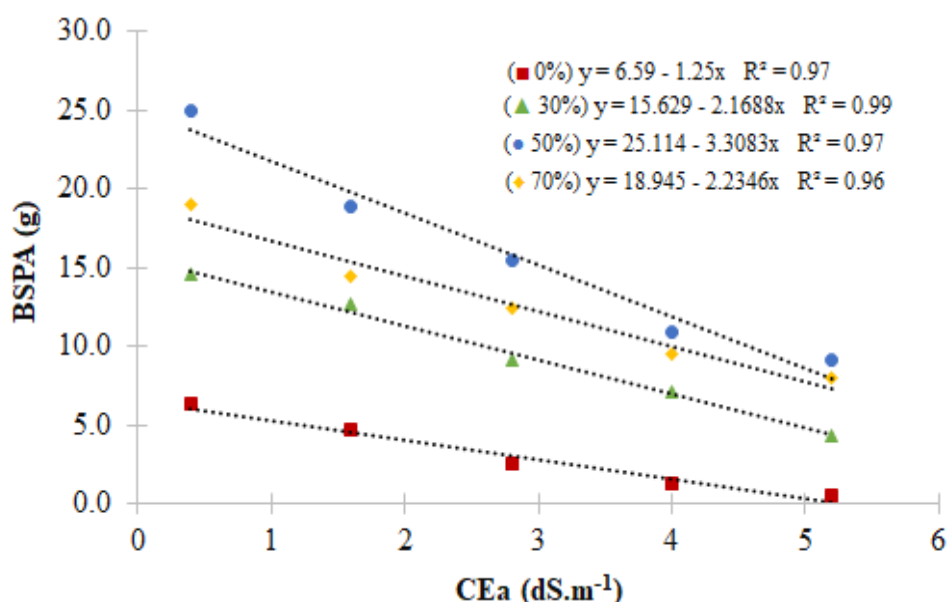
afetado pelo incremento dos níveis de salinidade, apresentando perdas relativas de até 53% entre o tratamento controle (1,0 dS.m⁻¹) e o de maior nível salino (5,1 dS.m⁻¹).

6.4.4 Biomassa seca da parte aérea

Em todos os ambientes estudados, as mudas de *Anadenanthera colubrina* apresentaram reduções acentuadas na biomassa seca da parte aérea quando expostas aos níveis crescentes de salinidade da água de irrigação (Figura 29).

O ambiente com 50% de sombreamento apresentou as maiores médias de BSPA, apresentando valores máximos de 24,9 g observados no menor nível salino (0,4 dS.m⁻¹) e mínimos de 9,08 g observados no maior nível de salinidade (5,2 dS.m⁻¹), sendo superiores aos demais ambientes estudados mesmo com o aumento da condutividade elétrica da água. Os menores valores de BSPA foram observadas nas mudas que estavam a pleno sol, com valores médios de 9,5 g para o menor nível de salinidade e 0,46 g para o maior nível salino. Os resultados seguem a mesma tendência da altura de plantas e biomassa seca do caule, o qual nota-se que a interação entre os fatores foi mais evidente no ambiente a pleno sol.

Figura 29 – Biomassa seca da parte aérea (BSPA) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2020

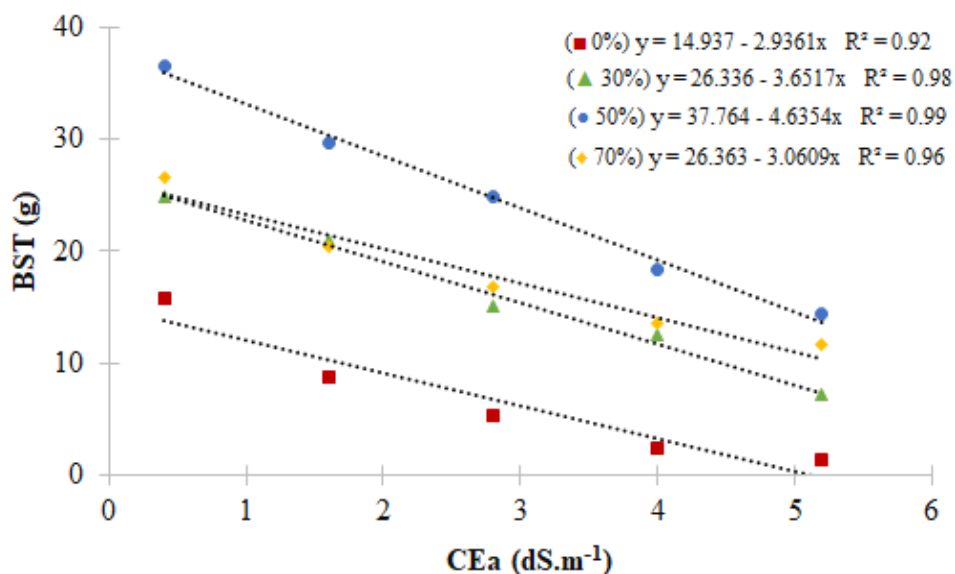
Os menores valores de BSPA nos maiores níveis de salinidade são atribuídos ao decréscimo na turgescência causado pelo déficit hídrico, que é acentuado quando as mudas se

encontram em ambientes com maiores níveis de radiação solar incidentes, onde a evapotranspiração é maior devido às condições ambientais existentes, consequentemente diminuindo a expansão celular, refletindo diretamente no crescimento das mudas. Além disso, as limitações fotossintéticas observadas anteriormente também podem ser responsáveis por tais resultados, visto que com o fechamento estomático observado nas maiores concentrações de sais há uma menor assimilação de CO₂, afetando o particionamento de matéria seca da planta (FREITAS *et al.*, 2014).

6.4.5 Biomassa seca total

A biomassa seca total decresceu linearmente com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação em todos os ambientes estudados (Figura 30). Apesar de todos os ambientes terem exibido perdas nesta variável, as mudas que estavam sob pleno sol foram as mais afetadas pela combinação dos fatores radiação solar x salinidade, apresentando os menores valores de biomassa seca total observados, com valores médios de 15,7 g e 1,29 g para o menor e o maior nível de salinidade, respectivamente. Já o ambiente com 50% de sombreamento se sobressaiu dos demais, apresentando os maiores médias de BST, com valores médios de 36,5 g e 14,4 g para o menor e o maior nível salino, respectivamente.

Figura 30 – Biomassa seca total (BST) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2020

Este comportamento é justificado por Ferreira *et al.* (2021) que atribuem estas reduções na produção de biomassa à diminuição da quantidade de água absorvida pela planta em função do efeito osmótico da salinidade e pela absorção de íons tóxicos como o Na^+ e o Cl^- , que ocasionam desequilíbrios metabólicos quando acumulados nos tecidos vegetais. Os autores citados anteriormente evidenciaram reduções lineares na biomassa seca total de mudas de *Pityrocarpa moniliformis* com o aumento crescente da condutividade elétrica da água de irrigação, sendo $0,5 \text{ dS.m}^{-1}$ a condutividade da água ideal para a produção de mudas sem prejudicar o seu desenvolvimento.

Com relação à exposição das plantas à radiação solar, sob condições semiáridas, caracterizadas por baixa disponibilidade de água e alta evapotranspiração ocorre uma redução na eficiência da enzima RuBisCo, provavelmente ocasionada pela maior resistência do mesófilo devido ao fechamento estomático, limitando a absorção de CO_2 e conseqüentemente a fotorrespiração (LEITE *et al.*, 2020). Dessa forma, as plantas que se desenvolveram sob estas condições tendem a apresentar menor produção de biomassa e um menor desenvolvimento quando comparadas com as que se desenvolveram sob condições adequadas, com menores temperaturas e melhor disponibilidade hídrica, como as que estão sob sombreamento.

6.5 Índice de qualidade de Dickson (IQD)

A análise de variância realizada para os dados de índice de qualidade de Dickson (Tabela 6) mostra que o IQD foi influenciado significativamente pelos efeitos isolados dos tratamentos e pela interação entre sombreamento x salinidade, ao nível de 1% de significância.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância referente aos dados do índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação

Fontes de Variação	G. L.	Quadrado Médio
		IQD
Blocos	3	0,039 ^{ns}
Sombreamento (A)	3	0,859 ^{**}
Resíduo (a)	9	0,035
Salinidade (B)	4	2,834 ^{**}
Interação (AxB)	12	0,231 ^{**}
Resíduo (b)	48	0,033

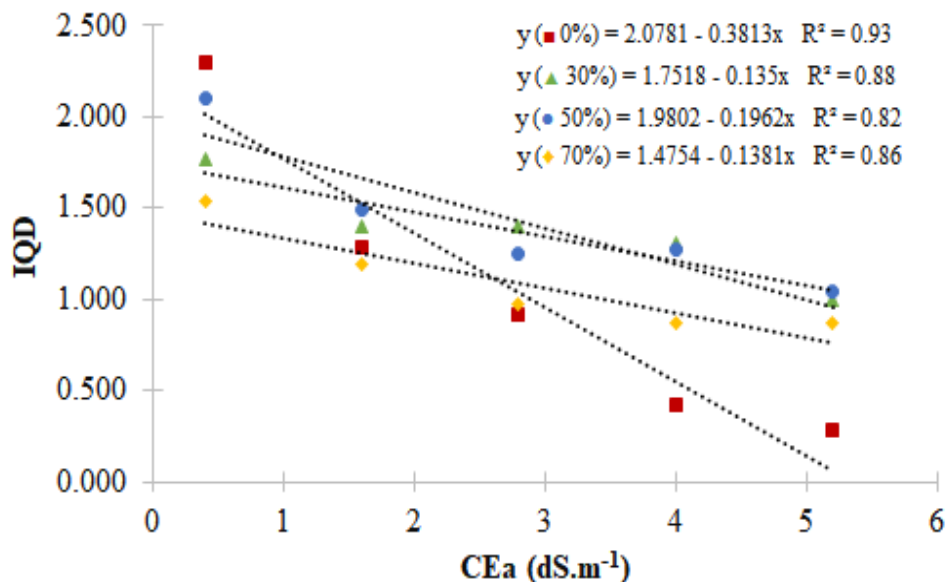
CV (%) A	15,32
CV (%) B	14,82

NS – não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

Hunt (1990) estabeleceu o valor mínimo do IQD para mudas com boa qualidade em 0,20. Dessa forma, considerou-se neste trabalho que quanto maior o índice de qualidade de Dickson melhor a qualidade das mudas (GOMES; PAIVA, 2011).

Observa-se que o IQD reduziu linearmente em todos os ambientes estudados com o aumento da salinidade da água de irrigação, sendo essa redução acentuada nas plantas que estavam a pleno sol, apresentando perdas de 29,35% quando comparado com o ambiente a 50% de sombreamento que foi o que apresentou maiores médias de IQD (Figura 31). Os ambientes com níveis de sombreamento intermediários foram os que apresentaram maiores valores de IQD, indicando que as mudas produzidas a 50% e 30% de sombreamento seriam as que apresentavam maior potencial de estabelecimento em campo.

Figura 31 – Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Anadenanthera colubrina* sob diferentes níveis de sombreamento e salinidade da água de irrigação



Fonte: Autoria própria, 2020

A redução do IQD com o aumento da salinidade pode ter ocorrido devido à redução da absorção de água pelas mudas em função do efeito osmótico, afetando o seu desenvolvimento e refletindo em parâmetros como altura, diâmetro e produção de biomassa, que são utilizados para a determinação do IQD (ALVES *et al.*, 2019). Da mesma forma, plantas

desenvolvidas a pleno sol tiveram o seu desenvolvimento afetado pelas condições ambientais que influenciaram na disponibilidade hídrica e consequentemente no desenvolvimento das plantas, enquanto que a níveis extremos de sombreamento, há uma redução na produção de fotoassimilados na planta que são utilizados para o seu desenvolvimento, refletindo na qualidade da muda.

Com relação ao sombreamento, Reis *et al.* (2016) ao estudarem o desenvolvimento inicial de mudas de *Copaifera langsdorfii* sob diferentes níveis de sombreamento observaram menores índices de qualidade de Dickson em mudas submetidas aos níveis extremos avaliados, como o ambiente a pleno sol. Os autores também constataram maiores valores de IQD em ambiente com 50% de sombreamento, recomendam a produção de mudas nesta faixa de retenção solar para garantir melhor qualidade das mudas e maior sobrevivência em campo.

Resultados semelhantes também foram constatados por Lima *et al.* (2018b) ao avaliarem o desenvolvimento de mudas de *Hazel sterculia* sob diferentes intensidades luminosas e estresse salino, onde obtiveram maiores valores de IQD em mudas produzidas em ambiente com 50% de sombreamento, mesmo em condições de alta salinidade (5,1 dS.m⁻¹), quando comparadas com as produzidas em pleno sol.

Em relação a salinidade, Mesquita *et al.* (2015) também observaram reduções na qualidade de mudas de *Azadirachta indica* L. com o incremento dos níveis de salinidade (0,5 a 6,0 dS.m⁻¹), onde obtiveram mudas de qualidade inferior e impróprias para o plantio, corroborando com os resultados do presente estudo de que a salinidade afeta negativamente o desenvolvimento e a qualidade das mudas, comprometendo seu estabelecimento em campo.

7 CONCLUSÕES

O uso de sombrites favoreceu o melhor desenvolvimento das plantas, sendo o nível de 50% o que proporcionou melhores condições de desenvolvimento, apresentando mudas de melhor qualidade mesmo quando submetidas ao maior nível salino (5,2 dS.m⁻¹).

O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação afetou o desenvolvimento inicial das mudas de *Anadenanthera colubrina* que se mostrou sensível às condições salinas, caracterizando-se como glicófito, apresentando reduções em todas as variáveis analisadas com o aumento da concentração de sais.

O acúmulo de sais no solo aumentou gradualmente com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, sendo acentuado nos ambientes com menores níveis de sombreamento.

As trocas gasosas foram influenciadas negativamente pelo aumento da CEa, onde foram observados os menores valores de condutância estomática, fotossíntese, transpiração e concentração interna de CO₂ nos maiores níveis de salinidade. Entretanto, o sombreamento artificial interferiu positivamente, atenuando os efeitos deletérios dos sais da água de irrigação.

O índice de qualidade de Dickson demonstrou que as mudas de *Anadenanthera colubrina* apresentam melhor qualidade e maiores condições de estabelecimento em campo quando produzidas em condições de sombreamento intermediário e quando irrigadas com água de moderada salinidade.

REFERÊNCIAS

- AHMED, H. A.; AL-FARAJ, A. A.; ABDEL-GHANY, A. M. Shading greenhouses to improve the microclimate, energy and water saving in hot regions: a review. **Scientia Horticulturae**, v. 201, p. 36-45, 2016. doi: 10.1016/j.scienta.2016.01.030
- AIMI, S. C.; ARAÚJO, M. M.; TABALDI, L. A.; BARBOSA, F. M.; LIMA, M. S.; COSTELLA, C. Different shading intensities interfere with the growth of *Myrocarpus frondosus* allemão seedlings in the nursery? **Floresta**, v. 51, n. 1, p. 137-145, 2020.
- ALMEIDA, A. M. C.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; MEDEIROS NETO, P. N.; PIMENTA, A. S. Avaliação físico-química e energética da madeira das espécies *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke e *Amburana cearenses* (Allemao) A. C. Smith de ocorrência no semiárido nordestino brasileiro. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, 2015.
- ALVES, L. S.; VERAS, M. L. M.; MELO FILHO, J. S.; IRINEU, T. H. S.; DIAS, T. J. Salinidade na água de irrigação e aplicação de biofertilizante bovino no crescimento e qualidade em mudas de tamarindo. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 254-273, 2019.
- ANDRADE, J. R.; MAIA JÚNIOR, S. O.; SANTOS, A. F. S.; SILVA, V. M.; BEZERRA, L. T.; SILVA, J. R. R.; SANTOS, C. M.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L. Photosynthetic performance in Eucalyptus clones cultivated in saline soil. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 31, n. 5, p. 368-379, 2019.
- ARAGÃO, R.M.; SILVEIRA, J.A.G.; SILVA, E.N.; LOBO, A.K.M.; DUTRA, A.T.B. Absorção, fluxo no xilema e assimilação do nitrato em feijão-caupi submetido à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p.100-106, 2010.
- ARAÚJO, M. M.; NAVROSKI, M. C.; SCHORN, L. A. **Produção de sementes e mudas: um enfoque à silvicultura**. 1ª Ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2018, 448p.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo Pastoril Sustentável da Caatinga**. 1ª Ed. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2013. 200 p. Disponível em: <https://repositorio.iica.int/bitstream/11324/4209/1/BVE17099221p.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2021
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2ª Ed. Campina Grande: UFPB, FAO, 1999, 153p. (Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado).
- BAPTISTA, N.; CAMPOS, C. H. **Caracterização do Semiárido Brasileiro**. Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional, 2017. Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br/consea/comunicacao/artigos/2014/caracterizacao-do-semiarido-brasileiro1#:~:text=A%20regi%C3%A3o%20semi%C3%A1rida%20brasileira%20%C3%A9,de%20popula%C3%A7%C3%A3o%20rural%20do%20Brasil>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- BESSA, M. C.; LACERDA, C. F.; AMORIM, A. V.; BEZERRA, A. M. E.; LIMA, A. D. Mechanisms of salt tolerance in seedlings of six woody native species of the Brazilian Semi-arid. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 157-165, 2017.

- BEZERRA, F. T. C.; ANDRADE, L. A.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; BEZERRA, M. A. F. Emergência e crescimento inicial de plantas de *Parkinsonia aculeata* L. (Fabaceae) em substrato salino. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 611-618, 2013.
- BEZERRA, L. T.; SANTOS, A. R. C. S.; FARIAS, A. S.; SOUTO, P. C.; FERREIRA, V. M.; ARAÚJO NETO, J. C.; NASCIMENTO, H. H. C. Emergência e crescimento inicial de plântulas de *Libidibia ferrea* (Mart. exTul.) em diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1126-1140, 2020.
- BEZERRA NETO, F.; ROCHA, R.C.C.; NEGREIROS, M.Z.; ROCHA, R.H.C; QUEIROGA, R.C.F. Produtividade de alface em função de condições de sombreamento e temperatura e luminosidade elevadas. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 189-192, 2005.
- BHARGAVA, S.; SAWANT, K. Drought stress adaption: metabolic adjustment and regulation of gene expression. **Plant Breeding**, v. 132, n. 1, p. 21-32, 2012.
- BONAMIGO, T.; SCALON, S. P. Q.; PEREIRA, Z. V. Substrato e níveis de luminosidade no crescimento inicial de mudas de *Tocoyena formosa* (Cham. & Schldtl.) K. Schum. (Rubiaceae). **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 501-511, 2016.
- BRITO, S. F.; BEZERRA, A. M. E. Crescimento inicial de *Acnistus arborescens* (L.) Schldtl. em um gradiente de luz. **Revista Agrarian**, v. 9, n. 32, p. 128-136, 2016.
- CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 973-983, 2015.
- CAMPOS FILHO, E. M.; SARTORELLI, P. A. R. **Guia de árvores com valor econômico**. São Paulo: Agroicone, 2015. 141 p.
- CARMONA, F.C.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; HOLZCHUH, M.J.; FRAGA, T.I. Estabelecimento do arroz irrigado e absorção de cátions em função do manejo da adubação potássica e do nível de salinidade no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p.371-383, 2009.
- CARON, B. O.; SANTOS, D. R.; SCHIMIDT, D.; BASSO, C. J.; BEHLING, A.; ELOY, E.; BAMBERG, R. Biomassa e acúmulo de nutrientes em *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 267-276, 2014.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003, v. 1, 1039p.
- CAVALCANTE, E. S.; LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R.; PINHO, L. L.; BEZERRA, F. M. S.; OLIVEIRA, A. C.; CANJÁ, J. F. Supplemental irrigation using brackish water on maize in tropical semi-arid regions of Brazil: yield and economical analysis. **Scientia Agricola**, v. 78, supl. 2021.

CÉSAR, F. R. C. F.; MATSUMOTO, S. N.; VIANA, A. E. S.; BONFIM, J. A. Crescimento inicial e qualidade de mudas de *Pterogyne nitens* Tull. Conduzidas sob diferentes níveis de restrição luminosa artificial. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 357-366, 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, p. 2365-2384, 2004. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erh269>

COELHO JÚNIOR, L. M.; MEDEIROS, M. G.; NUNES, A. M. M.; MACIEIRA, M. L. L.; FONSECA, M. B. Avaliação do uso do solo e dos recursos florestais no semiárido do estado da Paraíba. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 72-88, 2020.

CORREIA, A. G. C.; SANTANA, R. C.; OLIVEIRA, M. L. R.; TITON, M.; ATAÍDE, G. M.; LEITE, F. P. Volume de substrato e idade: influência no desempenho de mudas clonais de eucalipto após replantio. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 185-191, 2013.

CROSGROVE, D. J. Water uptake by growing cells: an assessment of the controlling roles of wall relaxation, solute uptake and hydraulic conductance. **International Journal of Plant Science**, v. 154, p. 10-21, 1993.

DIAS, N.S.; OLIVEIRA, A.M.; SOUSA NETO, O.M.; BLANCO, F.F.; REBOUÇAS, J.R.L. Concentração salina e fases de exposição à salinidade do meloeiro cultivado em substrato de fibra de coco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p.915-921, 2011.

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; FÉLIX, G. A.; PIRES, I. E. Resgate vegetativo de árvores de *Anadenanthera macrocarpa*. **Cerne**, v. 21, n. 1, 2015.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

DUTRA, A. F.; ARAÚJO, M. M.; TURCHETTO, F.; RORATO, D. G.; AIMI, S. C.; GOMES, D. R.; NISHIJIMA, T. Substrato e esquema de irrigação no crescimento de mudas de *Piptadenia rigida* (Angico-Vermelho). **Ciência Rural**, v. 46, n. 6, p. 1007-1013, 2016.

ECHER, F. R.; ZANFOLIN, P. R. L.; MOREIRA, A. C. M.; SANTOS, A. C. P.; GORNI, P. H. Root growth and carbohydrate partitioning in cotton subjected to shading in the initial phase. **Ciência Rural**, v. 49, n. 1, 2019.

EL-HENDAWY, S. E.; HASSAN, W. M.; AL-SUHAIBANI, N. A.; REFAY, Y.; ABDELLA, K. A. Comparative performance of multivariable agro-physiological parameters for detecting salt tolerance of wheat cultivars under simulated saline field growing conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.00435

ENGINEER, C.; HASHIMOTO-SUGIMOTO, M.; NEGI, J.; ISRAELSSON-NORDSTROM, M.; AZOULAY-SHEMER, T.; RAPPEL, W-J.; IBA, K.; SCHROEDER, J. CO₂ sensing and CO₂ regulation of stomatal conductance: advances and open questions. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 1, p. 16-30, 2016.

FELSEMBURGH, C. A.; SANTOS, K. J. S.; CAMARGO, P. B.; CARMO, J. B.; TRIBUZY, E. S. Respostas ecofisiológicas de *Aniba parviflora* ao sombreamento artificial. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 201-210, 2016.

FERREIRA A. S.; LEAL, C. C. P.; GUIRRA, B. S.; TORRES, S. B.; PORCEDDU, M.; BACCHETTA, G. Production of *Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & R.W. Jobson (Fabaceae) seedlings irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 3, p. 182-188, 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, W. N.; ZANDAVALLI, R. B.; BEZERRA, A. M. E.; MEDEIROS FILHO, S. Crescimento inicial de *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke (Mimosaceae) e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan var. cebil (Griseb.) Altshul (Mimosaceae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 408-414, 2012.

FLOWERS, T. J.; FLOWERS, S. A. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? **Agricultural Water Management**, v. 78, n. 1, p. 15-24, 2005.

FREIRE, A. L. O.; SOUSA FILHO, G. M.; MIRANDA, J. R. P.; SOUTO, P. C.; ARAÚJO, L. V. C. Crescimento e nutrição mineral do nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) e cinamomo (*Melia azedarach* Linn.) submetidos à salinidade. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 207-215, 2010.

FREIRE, M. H. C.; SOUSA, G. G.; CEITA, E.D.R.; BARBOSA, A. S.; GOES, G. F.; LACERDA, C. F. Trocas gasosas de variedades de fava sob condições de salinidade da água de irrigação. **Agrarian**, v. 14, n. 51, p. 61-70, 2021.

FREITAS, I. A. S.; SANTOS, L. V. B.; SILVA, A. C. F.; SILVA, C. R.; SILVEIRA, P. S.; MATOS, F. S. Growth of *Tectona grandis* seedlings irrigated with saline water. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 961-967, 2017.

FREITAS, V. M. B.; SCALON, S. P. Q.; DRESCH, D. M.; BASTOS, S. S.; SOUZA, A. P. R.; JUNGLOS, F. S. Emergence, initial growth and photosynthetic metabolism of *Ormosia arborea* (Vell.) Harms under different light availabilities. **Floresta**, v. 50, n. 4, p. 1689-1697, 2020.

FREITAS, M. A. C.; AMORIM, A. V.; BEZERRA, A. M. E.; PEREIRA, M. S.; NOGUEIRA FILHO, F. P.; LACERDA, C. F. Crescimento e tolerância à salinidade em três espécies do gênero *Plectranthus* expostas a diferentes níveis de radiação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 4, p. 839-849, 2014.

GAZOLLA-NETO, A.; AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; OLSEN, D.; VILLELA, F.A. Ação de níveis de luminosidade sobre o crescimento de plantas de maria-pretinha (*Solanum americanum* Mill.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 1, p. 88-92, 2013.

GHANNOUM, O.; CONROY, J. P.; DRISCOLL, S. P.; PAUL, M. J.; FOYER, C. H.; LAWLOR, D. W. Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C4 grasses. **New Phytologist**, v. 159, n. 3, p. 599-608, 2003.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; VENTRELLA, M. C.; GARCEZ NETO, A. F.; ROCHA, G. C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436-1444, 2011.

GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 19, n. 4, p.377-391, 2007.

GOMES, J. F.; PAIVA, H. P. **Viveiros Florestais - propagação sexuada**. 3ª Ed. Viçosa: UFV, 2011, 116p.

GONÇALVES, E. Z.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anandenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. *Revista Árvore*, v. 36, n. 2, p. 219-228, 2012.

HEUER, B.; NADLER, A. Physiological response of potato plants to soil salinity and water deficit. **Plant Science**, v. 137, n. 1, p.43-51, sep. 1998.

HUNT, G. A. Effect of styroblock design of copper treatment on morphology of conifer seedlings. In: Target Seedling Symposium, Meeting of the Western Forest Nursery Associations, General Technical Report RM-200. Roseburg - OR, p. 218-222, 1990. Fort Collins: **United States Department Of Agriculture**, Roseburg: Forest Service, 1990. Disponível em: <https://rngr.net/publications/proceedings/1990/hunt.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2021.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Tabela de dados das estações, 2020. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A305>. Acesso em 06 jun. 2021.

ISAYENKOV, S. V.; MAATHUIS, F. J. M. Plant Salinity Stress: Many Unanswered Questions Remain. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019. doi: 10.3389/fpls.2019.00080

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal 2017**. IPECE: Fortaleza, 17 p. 2017.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008, 431p.

KISSEL, D. E.; SONON, L. **Soil test handbook for Georgia**. College of Agricultural & Environmental Sciences. The University of Georgia, 2008, 99 p.

KUMAR, M.; KUMAR, R.; JAIN, V.; JAIN, S. Differential behavior of the antioxidant system in response to salinity induced oxidative stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of *Brassica juncea* L. **Biocatalisys and Agricultural Tecnology**, v. 13, p. 12-19, 2018.

LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; COSTA, R. N. T.; SOUSA, G. G.; LIMA, G. S. Strategies for the use of brackish water for crop production in Northeastern Brazil. In: TALEISNIK, E.; LAVADO, R. S. **Saline and alkaline soils in Latin America: natural resources, management and productive alternatives**. 1ª Ed. Springer International Publishing, p. 71-99, 2021

- LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; BEZERRA, M. A.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G.; GHEYI, H. R. **Estratégias de manejo para o uso de água salina na agricultura**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2ª Ed. Fortaleza: INCTSal, 2016, p. 337-352.
- LAWSON, T.; DAVEY, P. A.; YATES, S. A.; BECHTOLD, U.; BAESHEN, M.; BAESHEN, N.; MUTWAKIL, M. Z.; SABIR, J.; BAKER, N. R.; MULLINEAUX, P. M. C3 photosynthesis in the desert plant *Rhazya stricta* is fully functional at high temperatures and light intensities. **New Phytologist**, 201(3), p. 862-873, 2014. doi: 10.1111/nph.12559
- LAWSON, T.; MATTHEWS, J. Guard cell metabolism and stomatal function. **Annual Review of Plant Biology**, v. 71, p. 273-302, 2020. doi: 10.1146/annurev-arplant-050718-100251
- LEITE, M. S.; TORRES, S. B.; LEAL, C. C. P.; MATIAS, J. R.; BRITO, W. A. L.; AQUINO, G. S. M. Morphological and biochemical responses of *Poincianella pyramidalis* seedlings subjected to water restriction. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 4, 2020.
- LENHARD, N. R.; PAIVA NETO, V. B.; SCALON, S. P. Q.; ALVARENGA, A. A. Crescimento de mudas de pau ferro sob diferentes níveis de sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, 2013.
- LIMA, A. D.; BEZERRA, F. M. S.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, A. M. E. Responde of four woody species to salinity and water deficit in initial growth phase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 11, p. 753-757, 2018a.
- LIMA, B. L. C.; LACERDA, C. F.; FERREIRA NETO, M.; CAMPELO, D. H.; SILVA, J. A.; ORTIZ, P. F. S.; BEZERRA, A. M. E. Light availability and salt stress on *Hazel sterculia* seedlings. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, 2018b.
- LIMA, M. F. P.; PORTO, M. A. F.; TORRES, S. B.; FREITAS, R. M. O.; NOGUEIRA, N. W.; CARVALHO, D. R. Emergência e crescimento inicial de plântulas de albizia submetidas à irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 106-112, 2015.
- LIMA, R. C. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; MARIN, A. M. P. **Desertificação e mudanças climáticas no Semiárido brasileiro**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido (INSA) – PB, 2011, 209p.
- LIMA JUNIOR, E. C.; ALVRENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; VIEIRA, C. V.; OLIVEIRA, H. M. Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1092-1097, 2005.
- LONG, S. P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 45, p. 633-662, 1994.

MATIAS, J. R.; TORRES, S. B.; LEAL, C. C. P.; LEITE, M. S.; CARVALHO, S. M. C. Hydropriming as inducer of salinity tolerance in sunflower seeds. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 255-260, 2018.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB e CE**. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

MEDEIROS, M. B. C. L.; JESUS, H. I.; SANTOS, N. F. A.; MELO, M. R. S.; SOUZA, V. Q.; BORGES, L. S.; GUERREIRO, A. C.; FREITAS, L. S. Índice de qualidade de Dickson e característica morfológica de mudas de pepino, produzidas em diferentes substratos alternativos. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, p. 159-173, 2018.

MELO, R. R.; CUNHA, M. C. L. Crescimento inicial de mudas de Mulungu (*Erythrina velutina* Wild.) sob diferentes níveis de luminosidade. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 66-77, 2008.

MESQUITA, F. O.; NUNES, J. C.; LIMA NETO, A. J.; SOUTO, A. G. L.; BATISTA, R. O.; CAVALCAANTE, L. F. Formação de mudas de Nim sob salinidade da água, biofertilizante e drenagem do solo. **Irriga**, v. 20, n. 2, p. 193-203, 2015.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 6 Ed. United States of America: John Wiley & Sons, 2009, 754 p. Disponível em: https://endustri.eskisehir.edu.tr/ipoyraz/TKY302/icerik/text%20book_montgomery_6th%20edition.pdf. Acesso em: 19 jul. 2020.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Caatinga – monitoramento do desmatamento dos biomas brasileiros por satélite**. Relatório Técnico 2010-2011. Disponível em: Relatório Técnico 2010-2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agenciainformma?view=blog&id=2096>. Acesso em: 04 ago. 2021.

MORAIS, R. R.; ROSSI, L. M. B.; HIGA, R. C. V. Trocas gasosas de plantas jovens de taxi-branco submetidas à variação de temperatura foliar e suspensão da irrigação. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 97-104, 2017.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B. **Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais**. In: OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. *Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental*. 1ª Ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 110p. Disponível em: <http://www.embrapa.br/florestas/publicacoes>. Acesso em: 27 jul. 2021.

MOTA, L. H. S.; SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M. Efeito do condicionamento osmótico e sombreamento na germinação e no crescimento inicial das mudas de angico (*Anadenanthera falcata* Benth. Spag.). **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 15, n. 4, p. 655-663, 2013.

- MOTA, L. H. S.; SCALON, S. P. Q.; HEINZ, R. Sombreamento na emergência de plântulas e no crescimento inicial de *Dipterix alata* Vog. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 423-431, 2012.
- NAKAZONO, E. M.; COSTA, M. C.; FUTATSUGI, K.; PAULILO, M. T. S. Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. em diferentes regimes de luz. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, p. 173-179, 2001.
- NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; TEIXEIRA, A. S.; COSTA, C. A. G.; GHEYI, H. R. Monitoring soil coverage and yield of cowpea furrow irrigated with saline water. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 4, n. 1, p.59-66, 2010.
- NOGUEIRA, F. C. B.; GALLÃO, M. I.; BEZERRA, A. M. E.; MEDEIROS FILHO, S. Efeito da temperatura e luz na germinação de sementes de *Dalbergia cearensis* Ducke. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, 2014.
- NOGUEIRA, N. W.; TORRES, S. B.; FREITAS, R. M. O.; SANTOS, P. C. S.; SÁ, F. V. S.; LEITE, M. S. Salt stress and temperatures on the germination and initial growth of 'jurema-de-embira' (*Mimosa ophthalmocentra*) seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 273-278, 2018.
- OLIVEIRA, A. K. M.; ANDRADE e PEREZ, S. C. J. G. Crescimento inicial de *Tabebuia aurea* sob três intensidades luminosas. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 2, p. 263-273, 2012.
- OLIVEIRA, W. J. D.; SOUZA, E. R. D.; CUNHA, J. C.; SILVA, E. F. D. F.; VELOSO, V. D. L. Leaf gas exchange in cowpea and CO₂ efflux in soil irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 32-37, 2017.
- OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. P.; Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, 5:86, 2014.
- PACHECO, F. V.; PEREIRA, C. R.; SILVA, R. L.; ALVARENGA, I. C. A. Crescimento inicial de *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex. Benth. (Fabaceae) e *Chorisia speciosa* A.St.-Hil (Malvaceae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 37, n. 5, p. 945-953, 2013.
- PAGLIARINI, M. K.; MOREIRA, E. R.; NASSER, F. A. C. M.; MENDONÇA, V. Z.; CASTILHO, R. M. M. Níveis de sombreamento no desenvolvimento de mudas de *Hymenaea courbaril* var. *Stilbocarpa*. **Cultura Agronômica**, v. 26, n. 3, p. 330-346, 2017.
- PERDOMO, J. A.; CAPÓ-BAUÇA, S.; CARMO-SILVA, E.; GALMÉS, J. Rubisco and rubisco activase play an important role in the biochemical limitations of photosynthesis in rice, wheat and maize under high temperature and water deficit. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.00490
- PEREIRA, F.A.L.; MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H.R.; DIAS, N.S.; PRESTON, W.; VASCONCELOS, C.B.L. Tolerance of melon cultivars to irrigation water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 12, p.846-851, 2017.
- PEREIRA, J.W.L.; MELO FILHO, P.A.; ALBUQUERQUE, M.B.; NOGUEIRA, R.J.M.C.;

SANTOS, R.C. Mudanças bioquímicas em genótipos de amendoim submetidos a déficit hídrico moderado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p.766-773, 2012.

PINTO, J. R. S.; DOMBROSKI, J. L. D.; SANTOS JUNIOR, J. H.; SOUZA, G. O.; FREITAS, R. M. O. Growth of *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., under shade in the Northeast Semi-Arid region of Brazil. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, p. 384-392, 2016.

POMPELLI, M. F.; BARATA-LUÍS, R.; VITORINO, H. S.; GONÇALVES, E. R.; ROLIM, E. V.; SANTOS, M. G.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; FERREIRA, V. M.; LEMOS, E. E.; ENDRES, L. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 8, p. 1207-1215, 2015.

QUEIROGA, R.C.; ANDRADE NETO, R.C.; NUNES, G.H.S.; MEDEIROS, J.F.; ARAÚJO, W.B.M. Germinação e crescimento inicial de híbridos de meloeiro em função da salinidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, p.315-319, 2006.

REIS, S. M.; JÚNIOR-MARIMON, B. H.; MORANDI, P. S.; OLIVEIRA-SANTOS, C.; OLIVEIRA, B. MARIMON, B. S. Desenvolvimento inicial e qualidade de mudas de *Copaifera langsdorfii* Desf. sob diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 11-20, 2016.

REIS, S. M.; MORANDI, P. S.; OLIVEIRA, B.; OLIVEIRA, E. A.; VALADÃO, M. B. X.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B. H. Influência do sombreamento no desenvolvimento inicial e eficiência no uso de nutrientes de *Dilodendron bipinnatum* Radkl (Sapindaceae), **Scientia Florestalis**, v. 43, n. 107, p. 581-590, 2015.

RIVAS, R.; BARROS, V.; FALCÃO, H.; FROSI, G.; ARRUDA, E.; SANTOS, M. Ecophysiological traits of invasive C3 species *Calotropis procera* to maintain high photosynthetic performance under high VDP and low soil water balance in semi-arid and seacost zones. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2020. doi: 10.3389/fpls.2020.00717

SANTOS, A. M. S.; BRUNO, R. L. A.; CRUZ, J. O.; SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P. Variabilidade espacial do banco de sementes em área de Caatinga no Nordeste do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 2, 2020.

SANTOS, C. M.; ENDRES, L.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ROLIM, E. V.; WANDERLEY FILHO, H. C. Photosynthetic capacity and water use efficiency in *Ricinus communis* (L.) under drought stress in semi-humid and semi-arid areas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 4, p. 3015-3029, 2017.

SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, M. T.; FIGUEIREDO, K. V.; FALCÃO, H. M.; ARRUDA, E. C. P.; ALMEIDA-CORTEZ, J.; SAMPAIO, E. V. S. B.; OMETTO, J. P. H. B.; MENEZES, R. S. C.; OLIVEIRA, A. F. M.; POMPELLI, M. F.; ANTONINO, A. C. D. Caatinga, the brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes?. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, p.83-99, 2014. doi: 10.1007/s40626-014-0008-0

SANTOS, R. H. S.; DIAS, M. S.; SILVA, F. A.; SANTOS, J. P. O.; SANTOS, S. C.; REIS, L. S.; TAVARES, C. L. Desempenho da rúcula sob condições de sombreamento e níveis de salinidade da água de irrigação. **Colloquim Agrariae**, v. 16, n. 4, p. 38-45, 2020.

- SANTOS, T. A.; MIELKE, M. S.; PEREIRA, H. A. S.; GOMES, F. P.; SILVA, D. C. Trocas gasosas foliares e crescimento de plantas jovens de *Protium heptaphyllum* March (Burseraceae) submetidas ao alagamento do solo em dois ambientes de luz. **Scientia Florestalis**, v. 40, n. 93, p. 47-56, 2012.
- SCALON, S.P.Q.; ALVARENGA, A.A. Efeito do sombreamento sobre a formação de mudas de pau-pereira (*Platycomus regnelli* Benth.). **Revista Árvore**, v. 17, n. 3, p. 265-270, 1993.
- SCALON, S. P. Q.; KODAMA, F. M.; DRESCH, D. M.; MUSSURY, R. M.; PEREIRA, Z. V. Gas exchange and photosynthetic activity in *Hancornia speciosa* gomes seedlings under water deficit conditions and during rehydration. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 4, p. 1124-1132, 2015.
- SECKIN, B.; SEKMEN, A. H.; TURKAN, I. An enhancing effect of exogenous mannitol on the antioxidant enzyme activities in roots of wheat under salt stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 1, p.12-20, 2009.
- SHRIVASTAVA, P.; KUMAR, R. Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 22, n. 2, p.123-131, 2015.
- SILVA, A. B. F.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BLANCO, F. F. Growth and yield of guava irrigated with saline water and addition of farmyard manure. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 4, p.354-359, 2008.
- SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; BEZERRA, M. A. Respostas fisiológicas de plantas de coqueiro anão sob deficiência hídrica, em solos afetados por sais. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 447-457, 2017.
- SILVA, B. E. P.; COSTA, A. V. L.; SIMMI, F. Z.; REOLON, F.; DEUNER, S. Parâmetros fisiológicos e fotossintéticos de aveia branca submetidos à salinidade. **Revista Científica Rural**, Bagé-RS, v. 21, n. 1, 2019.
- SILVA, B.M.S.; LIMA, J.D.; DANTAS, V.A.V.; MORAES, W.S.; SABONARO, D.Z. Efeito da luz no crescimento de mudas de *Hymenaea parvifolia* Huber. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, 2007.
- SILVA, C. R.; MACHADO, S. L. D.; ARAÚJO, A. A.; ABREU JÚNIOR, C. A. M. Análise da dinâmica fenológica de espécies de Caatinga brasileira com série tempo NDVI. **Cerne**, v. 24, n. 1, 2018.
- SILVA, G. S.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.
- SILVA, L. A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1-7, 2014.

SILVEIRA, G. V. S.; HOLANDA, A. C.; ALVES, A. R.; SILVA, F. D. S.; OLIVEIRA, J. L. R. Desenvolvimento de *Tabebuia aurea* e *Anandenanthera macrocarpa* sob diferentes níveis de sombreamento. **Engenharia na Agricultura**, v. 28, p. 357-363, 2020.

SILVEIRA, J. A G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. **Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2ª Ed. Fortaleza: INCTSal, 2016, p. 181-196

SILVERIO, J. M.; ESPÍNDOLA, G. M.; SANTOS, C. C.; SCALON, S. P. Q.; VIEIRA, M. C. Phosphate fertilization and shading on the initial growth and photochemical efficiency of *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. **Floresta**, v. 50, n. 4, p. 1741-1750, 2020.

SOUSA, A. E. C.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; UYEDA, C. A. Teores de nutrientes foliares e respostas fisiológicas em pinhão manso submetido a estresse salino e adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 144-152, 2012.

SUZUKI, N.; RIVERO, R. M.; SHULAEV, V.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Abiotic and biotic stress combinations. **New Physiologist**, v. 203, n. 1, p. 32-43, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. Ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 858p. 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ed. Editora Artmed. 2013. 918p.

TAN, Z-H., ZENG, J.; ZHANG, Y-J.; SLOT, M.; GAMO, M.; HIRANO, T.; KOSUGI, Y.; ROCHA, H. R.; SALESKA, S. R.; GOULDEN, M. L. Optimum air temperature for tropical forest photosynthesis: mechanisms involved and implications for climate warming. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 5, 2017.

TARDIEU, F.; SIMMONEAU, T.; MULLER, B. The physiological basis of drought tolerance in crop plants: a scenario-dependent probabilistic approach. **Annual Review of Plant Biology**, v. 69, p. 733-759, 2018. doi: 10.1146/annurev-arplant-042817-040218

TEDESCHI, A.; ZONG, L.; HUANG, C.H.; VITALE, L.; VOLPE, M.G.; XUE, X. Effect of salinity on growth parameters, soil water potential and ion composition in Cucumbis melo cv. huanghemi in north-western China. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 203, p.41-55, 2017.

TURNER, N.C. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. **Plant Physiology**, v. 53, n. 3, p. 360-365, 1974.

VALADÃO, M. B. X.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MORANDI, P. S.; REIS, S. M.; OLIVEIRA, B.; OLIVEIRA, E. A.; MARIMON, B. S. Initial development and biomass partitioning of *Physocalymma scaberrimum* Pohl (Lythraceae) under different shading levels. **Scientia Florestalis**, v. 42, n. 101, p. 129-139, 2014.

VALVERDE, S. R.; MAFRA, J. W. A.; MIRANDA, M. A.; SOUZA, C. S.; VASCONCELOS, D. C. **Silvicultura brasileira – oportunidades e desafios da economia verde**. Rio de Janeiro: FBDS, 2012. 40 p.

VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.; FERNANDES, G. W. **Biomass e agricultura: oportunidades e desafios**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Vertente Edições, 2019. 304 p. Disponível em: <http://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Livro-Biomass-e-Agricultura-Site.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2021.

URBAN, L. AARROUF, J.; BIDEL, L. P. R. Assessing the effects of water deficit on photosynthesis using parameters derived from measurements of leaf gas exchange and chlorophyll a fluorescence. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.02068

WALTER, J.; LUCK, E.; BAURIEGEL, A.; FACKLAM, M.; ZEITZ, J. Seasonal dynamics of soil salinity in peatlands: a geophysical approach. **Geoderma**, v. 310, p. 1-11, 2018.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R.; RIBEIRO, M.B.; AMARAL, D.O.J.; SUASSUNA, F.; SILOVA, M.V. Mechanisms of tolerance to salinity in banana: physiological, biochemical, and molecular aspects. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 39, n. 2, e-723, mai. 2017.

WORBES, M.; BLANCHART, S.; FICHTLER, E. Relations between water balance, wood traits and phenological behavior of tree species from a tropical dry forest in Costa Rica – a multifactorial study. **Tree Physiology**, Oxford, v. 33, p. 527-536, 2013.

YUAN, C.; FENG, S.; HUO, Z.; JI, Q. Effects of deficit irrigation with saline water on soil water-salt distribution and water use efficiency of maize for seed production in arid Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 212, p. 424-432, 2019. doi: 10.1016/j.agwat.2018.09.019

ZANELLA, F.; SONCELA, R.; LIMA, A.L.S. Formação de mudas de maracujazeiro amarelo sobre níveis de sombreamento em Ji-Paraná/RO. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 5, p. 880-884, 2006.

ZELM, E. V.; ZHANG, Y.; TESTERINK, C. Salt tolerance mechanisms of plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 71, p. 403-433, 2020. doi: 10.1146/annurev-arplant-050718-100005

ZENG, L.; SHANNON, M.C.; LESCH, S.M. Timing of salinity stress affects rice growth and yield components. **Agricultural Water Management**, v. 48, p. 191-206, 2011.

ZIMMERMANN, A. P. L.; FLEIG, F. D.; TABALDI, L. A.; AIMI, S. C. Morphological and physiological plasticity of saplings of *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. in different light conditions. **Revista Árvore**, v. 43, n. 1, 2019.