

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - SOLOS E NUTRIÇÃO
DE PLANTAS

MARIA AUXILIADORA CONCEIÇÃO DE FREITAS

CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS E ACÚMULO DE SOLUTOS EM TRÊS
ESPÉCIES DO GÊNERO *PLECTRANTHUS* SOB DIFERENTES NÍVEIS DE
SALINIDADE E LUMINOSIDADE

FORTALEZA - CE

2012

MARIA AUXILIADORA CONCEIÇÃO DE FREITAS

**CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS E ACÚMULO DE SOLUTOS EM TRÊS
ESPÉCIES DO GÊNERO *PLECTRANTHUS* SOB DIFERENTES NÍVEIS DE
SALINIDADE E LUMINOSIDADE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof^o. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda

Co-orientador: Prof^o. Dr. Antonio Marcos Esmeraldo Bezerra

FORTALEZA – CE

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- F937c Freitas, Maria Auxiliadora Conceição de.
Estudo da eficiência de diferentes fontes de fosfato na cultura do sorgo cultivado em cambissolo.
/ Maria Auxiliadora Conceição de Freitas. – 2012.
101f. : il. , enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas,
Fortaleza, 2012.
- Área de Concentração: Fertilidade e Química do Solo
Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.
Coorientação: Prof. Dr. Antonio Marco Esmeraldo Bezerra.
1. Plantas medicinais – cultivo. 2. Salinidade. 3. Planta – efeito do potássio.
4. Água de irrigação. 5. Boldo. I. Título.

CDD 631.4

MARIA AUXILIADORA CONCEIÇÃO DE FREITAS

**CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS E ACÚMULO DE SOLUTOS EM TRÊS
ESPÉCIES DO GÊNERO *PLECTRANTHUS* SOB DIFERENTES NÍVEIS DE
SALINIDADE E LUMINOSIDADE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em: ____ / ____ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. D. Sc. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof^o. D. Sc. Antonio Marcos Esmeraldo Bezerra (Co-Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof^a. D. Sc. Aiala Vieira Amorim (Examinadora)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira (Unilab)

D. Sc. Rita de Cássia Alves Pereira (Examinadora)
Embrapa Agroindústria Tropical

A Arthur Henrique, Pedro Samuel, Samara
Beatriz e Maria Carolina pelos sorrisos
sinceros.

Com carinho dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará – UFC, pela seriedade com que assume a função de ensinar;

Ao Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade concedida para estudar e aprimorar a minha formação;

À Coordenação do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas pelo apoio prestado durante a realização deste curso e ao corpo docente pelos conhecimentos transmitidos;

À Funcap, pela concessão da bolsa de estudo durante o curso;

Ao CNPq e ao INCTSal, pelo financiamento da pesquisa;

Ao Professor Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda – exemplo de sabedoria e humildade – pela orientação tranquila e confiança em mim depositada, meu profundo respeito e sincera admiração;

Ao Professor Dr. Antonio Marcos Esmeraldo Bezerra, pelo espaço cedido, pelo apoio e colaboração na realização das análises estatísticas, obrigada por compartilhar seus conhecimentos;

À Professora Dr^a. Aiala Vieira Amorim, sua alegria, amizade, disponibilidade e colaboração contribuíram para a realização deste trabalho.

À Dr^a. Rita de Cássia Alves Pereira, pesquisadora da Embrapa, pelas observações e considerações feitas para a redação final do trabalho;

Aos Professores Dr. Enéas Gomes Filho e Dr. Joaquim Enéas Filho, pela disponibilidade do Laboratório de Fisiologia Vegetal para a realização das análises da pesquisa;

Aos amigos do Mestrado: Ana Paula, Naiara Célida, Jordânia Gabriel, Ailton Mascarenhas, Carlos Vitor, Alcione Guimarães, Jaime Henrique, Aridiano de Deus, José Wilson, Rafael Cipriano, Alissom Símplicio, Clayton Saialy, Alide Mitsue, pelo afeto, respeito, solidariedade e inesquecível convivência;

Aos companheiros de campo e laboratório Magnum de Souza, Michele Bessa, Adriano Silva, Fuad Nogueira, Edilson Bieh, Ramom Costa, Moisés Lira, pela convivência harmoniosa e momentos descontraídos que vivemos juntos, meu carinho e gratidão;

Aos bolsistas do laboratório de Fisiologia vegetal, em especial, Tiago, Rafael Miranda, Lucas e Elton, pelo apoio durante a realização das análises;

Aos funcionários do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana – NEPAU, Mazinho e Clériston, pelo apoio;

Às amigas Naiara Célida, Ana Paula, Laiane Torres e Grazi Barbosa, pela irmandade, parceria e companheirismo, compartilhando dificuldades e alegrias cotidianas;

À minha família – fonte que me abastece, solo que me sustenta, árvore que me acolhe – pelo apoio incondicional;

A Deus, maior de todos os mestres, pelas infinitas bênçãos em minha vida.

“Toda pessoa sempre é as marcas das lições diárias de outras tantas pessoas. E é tão bonito quando a gente entende que a gente é tanta gente onde quer que a gente vá. É tão bonito quando a gente sente que nunca está sozinho por mais que pense estar”.

(Gonzaguinha)

RESUMO

No cultivo de plantas medicinais as condições de salinidade e de luz podem exercer influência no rendimento e qualidade final da produção de fitomassa. Este trabalho foi desenvolvido no Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) da Universidade Federal do Ceará – UFC, em Fortaleza – CE, com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes níveis luminosos e de salinidade na água de irrigação no crescimento e respostas fisiológicas de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus*. Utilizou-se o delineamento experimental em parcelas subdivididas, com cinco repetições, sendo as parcelas referentes ao fator ambiente (pleno sol e telado), as subparcelas referentes aos níveis de salinidade na água de irrigação - CEa (0,7; 1,9; 3,1; 4,3 e 5,5 dS m⁻¹), e as subsubparcelas às três espécies do gênero *Plectranthus* (*P. amboinicus*, *P. barbatus* e *P. grandis*). O experimento teve a duração de 60 dias, após o transplante, sendo realizadas as seguintes avaliações: área foliar, produção massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, trocas gasosas, teores de clorofila e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos. O estresse salino induziu reduções significativas no crescimento e nas trocas gasosas das três espécies avaliadas, com as maiores reduções sendo verificadas nas plantas expostas a pleno sol. A resposta à salinidade da espécie *P. grandis* foi menos influenciada pelo ambiente de cultivo do que nas duas outras espécies estudadas. A salinidade afetou a partição de matéria seca, sendo as raízes mais afetadas do que a parte aérea. Em relação a produção de matéria seca total, verifica-se que as três espécies estudadas se mostraram tolerantes ou moderadamente tolerantes à salinidade de até 3,1 dS m⁻¹, porém na salinidade de 5,5 dS m⁻¹ todas se mostraram sensíveis ao excesso de sais na água de irrigação. Considerando-se o grau de redução na produção de massa seca da parte aérea (parte de interesse comercial), poderia-se recomendar o cultivo da espécie *P. grandis* quando se dispõe de água de irrigação com CEa de até 3,1 dS m⁻¹. Verificou-se aumento expressivo na acumulação de Na⁺ e Cl⁻, e reduções no teor de potássio, tanto nas hastes quanto nas folhas. Em decorrência do maior acúmulo de sódio nas hastes, a relação dos íons Na⁺/K⁺ nesta parte da planta atingiu valor de 1,6 na CEa de 5,5 dS m⁻¹, indicando um possível desequilíbrio nutricional e toxicidade de íons. Para os solutos orgânicos, o teor de carboidratos não foi alterado com o aumento da CEa, porém os teores de prolina e N-aminossolúveis aumentaram em resposta ao estresse, sendo que no caso da prolina os aumentos foram maiores na espécie *P. grandis* cultivada em pleno sol.

Palavras-chave: estresse salino, irradiância, plantas medicinais, crescimento, trocas gasosas, prolina, relação Na/K.

ABSTRACT

Growing medicinal plants in the conditions of salinity and light can exert influence on yield and final quality of the biomass production. This work was developed at the Center for Teaching and Research in Urban Agriculture (NEPAU), Federal University of Ceará - UFC, Fortaleza - CE, with the objective of evaluating the effect of different luminosities and salinity levels in irrigation water on growth and physiological responses of three medicinal species of the genus *Plectranthus*. It was used the completely randomized split plots with five repetitions, the plots had corresponded to the environmental factor (mesh with 50% luminosity and full sunlight) and the split plots for five levels of salt stress in irrigation water – CEw (0.7, 1.9, 3.1, 4.3 and 5.5 dS m⁻¹) and the subsubplots the medicinal species (*P.amboinicus*, *P. barbatus* and *P. grandis*). The experiment lasted for 60 days after transplanting, being determined by the following: leaf area, dry mass production of shoot, root dry mass, gas exchange, chlorophyll content and accumulation of organic and inorganic solutes. Salt stress induced significant reductions in the growth and gas exchange of the three species evaluated, with the largest reductions being observed in plants exposed to full sunlight. The response to the salinity of the species *P. grandis* was less influenced by growth environment than in the other two species. Salinity affected the dry matter partitioning, the roots being more affected than the shoot. Considering the total dry matter production, it is found that all three species studied were moderately tolerant or salinity tolerance of up to 3.1 dS m⁻¹ but on the salinity of 5.5 dS m⁻¹ all were sensitive to excess salts in the irrigation water. Considering the degree of reduction in the production of raw party area (part of commercial interest), one could recommend the cultivation of the species *P. grandis* when it has irrigation water with ECw up to 3.1 dS m⁻¹. There was significant increase in the accumulation of Na⁺ and Cl⁻, and reductions in potassium content, both on the stems as the leaves. Due to the higher accumulation of sodium in the stems, the ratio of Na⁺/K⁺ in this part of the plant reached a value of 1.5 in CEa of 5.5 dS m⁻¹, indicating a possible nutritional imbalance and ion toxicity. For the organic solutes, the carbohydrate content was not changed with increasing salinity but the concentrations of proline and N-aminosoluble increased in response to stress and in the case of proline elevations were higher in the species *P. grandis* grown in full sunlight.

Keywords: salinity stress, irradiance, medicinal plants, growth, gas exchange, proline, ratio Na/K.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Área foliar (AF) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	45
Figura 1.2	Massa seca da parte aérea (MSPA) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	46
Figura 1.3	Massa seca radicular (MSR) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	47
Figura 1.4	Relação MSR/MSPA em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	48
Figura 2.1	Condutância estomática (<i>gs</i>) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> aos 30 DAT (A) e (B) e aos 50 DAT (C) e (D) cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e (C) e pleno sol (B) e (D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	66
Figura 2.2	Taxa de transpiração (<i>E</i>) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> aos 30 DAT (A) e (B) e aos 50 DAT (C) e (D) cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e (C) e pleno sol (B) e (D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	68
Figura 2.3	Temperatura foliar aos 30 DAT a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	69
Figura 2.4	Temperatura foliar em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> em função de níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 50 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012	70

Figura 2.5	Taxa fotossintética (A) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> aos 30 DAT (A) e (B) e aos 50 DAT (C) e (D) cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e (C) e pleno sol (B) e (D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	71
Figura 2.6	Eficiência momentânea do uso da água (A/E) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> aos 30 DAT (A) e (B) e aos 50 DAT (C) e (D) cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e (C) e pleno sol (B) e (D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	73
Figura 2.7	Eficiência intrínseca do uso da água (A/g _s) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 30 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012	74
Figura 2.8	Eficiência intrínseca do uso da água (A/g _s) a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 50 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012	74
Figura 2.9	Índice relativo de clorofila (IRC) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B) e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 30 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012	77
Figura 2.10	Índice relativo de clorofila (IRC) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> em função de níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 50 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012	78
Figura 2.11	Razão de área foliar (RAF) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	80
Figura 2.12	Massa específica foliar (A e B) e suculência foliar (C e D) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e (C) e pleno sol (B) e (D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	81

Figura 2.13	Teor de Na^+ em folhas (A e B) e em hastes (C e D) de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A e C) e pleno sol (B e D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.....	84
Figura 2.14	Teor de Cl^- em folhas de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	85
Figura 2.15	Teor de Cl^- em hastes de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	86
Figura 2.16	Teor de K^+ em folhas (A e B) e em hastes (C e D) de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A e C) e pleno sol (B e D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	88
Figura 2.17	Relação Na^+/K^+ em folhas de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	89
Figura 2.18	Relação Na^+/K^+ em hastes a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	90
Figura 2.19	Teores de prolina em folhas de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	92
Figura 2.20	Teores N-aminossolúveis em folhas de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	93
Figura 2.21	Teores de carboidratos solúveis em folhas de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Classificação de espécies vegetais quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução do crescimento ou produtividade	43
Tabela 1.2	Resumo da análise de variância para a área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), Massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST), relação MSR/MSPA em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	44
Tabela 1.3	Análise de tolerância à salinidade de espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em diferentes ambientes (telado e pleno sol), com base no percentual de redução da área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST). UFC, Fortaleza-CE, 2012	49
Tabela 2.1	Resumo da análise de variância para as variáveis: temperatura foliar, condutância estomática (<i>gs</i>), transpiração (E), taxa fotossintética (A), eficiência momentânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/ <i>gs</i>) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 30 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012	64
Tabela 2.2	Resumo da análise de variância para as variáveis: temperatura foliar, condutância estomática (<i>gs</i>), transpiração (E), taxa fotossintética (A), eficiência momentânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/ <i>gs</i>) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 50 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012	65
Tabela 2.3	Temperatura foliar em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, aos 30 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012	69

Tabela 2.4	Eficiência intrínseca do uso da água (<i>A/g_s</i>) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, aos 50 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012	75
Tabela 2.5	Resumo da análise de variância para o índice relativo de clorofila (IRC) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> aos 30 e 50 DAT em função de diferentes luminosidades e níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	76
Tabela 2.6	Índice relativo de clorofila (IRC) aos 50 DAT em folhas de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> em diferentes luminosidade. UFC, Fortaleza-CE, 2012	77
Tabela 2.7	Resumo da análise de variância para a razão de área foliar (RAF), massa específica foliar (MRF) e suculência foliar (SUC) em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	79
Tabela 2.8	Resumo da análise de variância para os teores de sódio (Na^+), cloreto (Cl^-) potássio (K^+) e relação Na^+/K^+ em folhas e hastes de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	82
Tabela 2.9	Teor de Cl^- em folhas de três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> em diferentes luminosidades. UFC, Fortaleza-CE, 2012	85
Tabela 2.10	Resumo da análise de variância para os teores de prolina, carboidratos e N-aminossolúveis em folhas em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012	91

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO GERAL	16
2.0	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Características e uso medicinal de espécies do gênero <i>Plectranthus</i>	18
2.2	Salinidade do solo	20
2.3	Efeito da salinidade no crescimento das plantas	21
2.4	Trocas gasosas em plantas sob condição de salinidade	22
2.5	Solutos inorgânicos e orgânicos em plantas sob condição de salinidade.....	23
2.6	Tolerância das plantas à salinidade	25
2.7	Estresse salino: estudos com plantas medicinais	26
2.8	Respostas morfofisiológicas das plantas a luminosidade	27
2.9	A interação entre os estresses ambientais	39
3.10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
	Capítulo 1 Crescimento e tolerância à salinidade em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> submetidas a diferentes níveis de radiação	36
	RESUMO	37
	ABSTRACT	38
1.1	INTRODUÇÃO	39
1.2	MATERIAL E MÉTODOS	41
1.2.1	Local do experimento.....	41
1.2.2	Delineamento experimental.....	41
1.2.3	Material vegetal e condução do experimento.....	41
1.2.4	Variáveis avaliadas.....	42
1.2.4.1	Área foliar, produção de massa seca e partição de fotoassimilados.....	42
1.2.4.2	Tolerância à salinidade	42
1.2.5	Análises estatísticas	43
1.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
1.3.1	Variáveis de crescimento.....	44
1.3.2	Tolerância à salinidade	48
1.3.3	CONCLUSÕES	50
1.4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

Capítulo 2 Trocas gasosas e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em três espécies medicinais do gênero <i>Plectranthus</i> sob diferentes níveis de salinidade e luminosidade	54
RESUMO	55
ABSTRACT	56
2.1 INTRODUÇÃO	57
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	59
2.2.1 Local do experimento.....	59
2.2.2 Delineamento experimental.....	59
2.2.3 Material vegetal e condução do experimento.....	59
2.2.4 Variáveis avaliadas.....	60
2.2.4.1 Trocas gasosas e índice relativo de clorofila (IRC)	60
2.2.4.2 Razão de área foliar, massa específica foliar e grau de suculência.....	61
2.2.4.3 Determinação dos teores de íons.....	61
2.2.4.4 Determinação de solutos orgânicos.....	62
2.2.5 Análises estatísticas.....	63
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
2.3.1 Trocas gasosas e índice relativo de clorofila (IRC)	64
2.3.2 Razão de área foliar, massa específica foliar e grau de suculência foliar.	78
2.3.3 Solutos inorgânicos	81
2.3.4 Solutos orgânicos	91
2.4 CONCLUSÕES	95
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

Desde a antiguidade que espécies vegetais são utilizadas para fins medicinais por meio do extrativismo. Nos últimos anos as indústrias química, farmacêutica, alimentícia e de cosméticos vêm empenhando-se na busca por matéria prima de qualidade e com regularidade de oferta. Com isso o uso das plantas medicinais, deixa de ser uma atividade meramente extrativista e passa a despertar, gradativamente, o interesse comercial para o seu cultivo. É nesse contexto que o cultivo de plantas medicinais e suas respostas às condições ambientais impostas nos meios de produção tornam-se fundamentais para assegurar o rendimento e produtividade vegetal.

A produtividade e a qualidade da matéria prima no cultivo de plantas medicinais são dependentes, entre outros fatores, das condições ambientais impostas, da variabilidade genética da espécie e também da interação genótipo e ambiente. Outro fator limitante ao crescimento e expansão do cultivo de plantas medicinais é a carência de informações técnicas sobre seu manejo, como por exemplo, o conhecimento das necessidades nutricionais da cultura e a adaptabilidade de espécies a fatores adversos do ambiente, tais como presença de sais no solo e na água de irrigação, temperatura do ar e luminosidade.

Geralmente, em condições naturais, as plantas dificilmente são submetidas a um único agente de estresse, de forma que o impacto de uma condição adversa particular é sempre acompanhado por problemas adicionais graves (ALEXIEVA *et al.*, 2003). Em regiões áridas e semiáridas, tem-se considerado, especialmente, o aumento de solos afetados por sais e as limitações hídricas como fatores limitantes à produção de culturas de importância social e econômica. Além disso, nestas regiões, o crescimento e rendimento de plantas provenientes de condições climáticas distintas podem ser comprometidos, também, pelos elevados níveis de irradiância solar.

Plantas cultivadas sob condições salinas terão limitações de água disponível, além dos efeitos tóxicos de íons específicos, em especial Na^+ e Cl^- , que promovem distúrbios fisiológicos e bioquímicos às plantas. A combinação desses fatores afeta o crescimento das plantas e por consequência, o rendimento das culturas, podendo, em casos extremos, ocasionar a morte das plantas (MUNNS, 2002; TAIZ; ZEIGER, 2010). No entanto, a tolerância à salinidade, depende da espécie, das variedades/genótipos de uma mesma espécie, dos estádios fenológicos de um mesmo genótipo e do período de exposição ao sal (MUNNS; TESTER, 2008).

A luz, como fonte primária de energia, é um dos principais aspectos relacionados à produtividade fotossintética a ser considerado. Zhang *et al.* (2007), apontam que muitos processos fisiológicos nas plantas são influenciados pela irradiância. Modificações nos níveis de luminosidade que uma espécie está adaptada podem condicionar diferentes respostas fisiológicas em suas características bioquímicas, anatômicas e de crescimento. Plantas cultivadas sob baixa irradiância exibem mecanismos adaptativos para utilizar com maior eficiência a luz solar disponível, incluindo aumento na altura da planta, maior comprimento das hastes e apresentam folhas mais finas e largas. Por outro lado, plantas cultivadas sob alta irradiância, diminuem a área específica foliar, absorvem uma grande quantidade de fótons e mantêm elevado acúmulo de biomassa (TAIZ; ZEIGER, 2010). Danos no aparelho fotossintético e alterações em atividades enzimáticas, também, constituem respostas a níveis de irradiância, quando considerados fator de estresse aos vegetais (ZHANG *et al.*, 2007).

Embora sejam conhecidas informações significativas de respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas de interesse econômico, cultivadas em ambientes nos quais são submetidas a estresse salino e a restrição de luminosidade, pouco se sabe sobre o efeito dessas condições ambientais, isoladas e/ou combinadas, no metabolismo e rendimento de plantas medicinais, em especial do gênero *Plectranthus*, que contempla importantes espécies de uso medicinal no Nordeste. De forma que muitos aspectos em relação à ecofisiologia destas plantas precisam ser esclarecidos, para alavancar a exploração desse grupo de plantas.

Diante disto, o objetivo deste trabalho foi estudar as relações entre crescimento, fisiologia e bioquímica em diferentes níveis de salinidade e condições de luminosidade em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus*.

2.0 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características e uso medicinal de espécies do gênero *Plectranthus*

O uso de medicamentos a base de espécies vegetais é uma prática que acompanha o ser humano desde os primórdios da Civilização, sendo fundamentada no acúmulo de informações repassadas através de sucessivas gerações. No Brasil, o uso das plantas medicinais foi disseminado pela cultura indígena associada com as tradições dos colonizadores europeus e, mais tarde, pelo ingresso dos africanos (FREIRE, 2004; BRASIL, 2006). Tal prática tem evoluído ao longo dos tempos, assumindo importante papel no tratamento de diversas doenças, de forma que, nas últimas décadas, a pesquisa por espécies vegetais com potencial medicinal vem sendo investigada no meio científico, buscando fundamentos para explicar as crenças populares de cura baseada em produtos vegetais (FREIRE, 2004). Tudo isso tem gerado grande interesse pelo potencial terapêutico e econômico que o uso das plantas medicinais pode representar.

Dentre as plantas de importância medicinal a família Lamiaceae, amplamente distribuída, tem sido reconhecida pela existência de inúmeras espécies utilizadas como aromáticas e medicinais, devido à presença de óleos essenciais, produzidos nos pelos glandulares ou escamas, densamente situados nos caules e folhas (ABDEL-MOGIB *et al.*, 2002; LORENZI; MATOS, 2002). Considerado um dos maiores gêneros da família Lamiaceae, o *Plectranthus* é constituído de cerca de 300 espécies, sendo elas ornamentais, comestíveis e medicinais. Possui uma ampla distribuição geográfica, sendo encontrado na África, América, Oceania e Ásia. É avaliado em um dos gêneros mais ricos em óleos essenciais, tendo como principais constituintes os monos e sesquiterpenos. O uso medicinal das espécies do gênero *Plectranthus* responde por aproximadamente 85% de todos os seus usos, dos quais 65% são representados pelas espécies *P. amboinicus* e *P. barbatus* (LUKHOBBA *et al.*, 2006).

No Brasil, as espécies do gênero *Plectranthus*, conhecidas como boldo, são utilizadas na medicina popular pelas suas propriedades antidiarréicas, analgésicas e estimulantes da digestão (PASSARINHO-SOARES *et al.*, 2006; BANDEIRA *et al.*, 2011). No Ceará a medicina popular faz uso de quatro espécies de *Plectranthus*: *P. amboinicus* (Lour.) Spreng (malvarisco), *P. barbatus* (Andr.) Spreng (malva santa, boldo brasileiro), *P. ornatus* Codd. (boldo) e *P. grandis* (Kramer) (boldo gigante) (MATOS, 2007).

Entre as espécies mais estudadas do gênero *Plectranthus* destaca-se a *P. barbatus*, um arbusto aromático perene que atinge de 1,0 a 1,5 m de altura (LUKHOBBA *et al.*, 2006). Provavelmente originária da África, constitui uma das plantas medicinais mais citadas em levantamentos etnobotânicos no Brasil, sendo considerada uma das mais importantes para a medicina popular (COSTA; NASCIMENTO, 2003). Entre as ações farmacológicas dessa espécie, Costa (2006) cita a ação hipotensiva, cardiovascular, bronco-dilatadora, inibição da agregação de plaquetas, antitumoral, e antiinflamatório.

A *P. amboinicus* é uma planta aromática nativa da Ásia e encontrada em toda a América tropical. É uma erva perene, tortuosa atingindo de 0,40 a 1 m de altura. As folhas são deltóide-ovais com disposição oposta-cruzada, com margem denteada e nervuras salientes no dorso, medindo de 4 a 10 cm de comprimento, as flores apresentam coloração azulada ou rósea, em longos racemos (CARNEIRO, 2008). No Brasil, especialmente na região Nordeste, é amplamente utilizada, principalmente na forma de extratos e infusões, para o tratamento de várias doenças, incluindo inflamações. A espécie *P. amboinicus*, possui um óleo essencial responsável por variadas e importantes propriedades medicinais, dentre elas antifúngica antibacteriana e antiinflamatória. Entre os principais constituintes químicos do óleo essencial destaca-se a presença do carvacrol, cariofileno, terpineol e flavonóides, além de ácidos terpênicos e taninos (ROSA *et al.*, 1999; ALBUQUERQUE, 2000).

Outra espécie com grande importância na medicina popular é a *Plectranthus grandis*, conhecida pela denominação de boldo gigante. Embora, se utilize popularmente a planta para combater problemas gastrintestinais, não existem dados na literatura científica sobre efeitos farmacológicos de *P. grandis*. Essa espécie possui características morfológicas semelhantes as da *P. barbatus*, cujos extratos são extensivamente estudados no sistema gastrintestinal. As diferenças morfológicas são pequenas, diferindo principalmente em relação as folhas e ao amargor da espécie *P. grandis* em relação a *P. barbatus* (MATOS, 2002).

Trabalhos publicados, envolvendo os efeitos farmacológicos das espécies em estudo têm demonstrado o potencial medicinal das plantas do gênero *Plectranthus*, explicando a importância e larga utilização na medicina popular (ABDEL-MOGIB *et al.*, 2002; COSTA, 2006; ALASBAHI; MELZIG, 2010; BANDEIRA *et al.*, 2011; RICE *et al.*, 2011). De forma que a potencialidade terapêutica dessas espécies demonstra a necessidade de estudos em relação ao cultivo destas plantas e suas respostas às condições ambientais impostas nos meios de produção.

De acordo com Migliato *et al.* (2007), as plantas medicinais produzem diferentes substâncias químicas e o fazem em diferentes proporções, dependendo do habitat, do regime de chuvas, da insolação, do solo, enfim, das características edafoclimáticas. No entanto, a maioria dos trabalhos de farmacobotânica concentra-se, sobretudo, na produção de fitofármaco, na determinação e extração de compostos ativos e na análise de seus efeitos farmacológicos. Desta forma, tais estudos, geralmente, ignoram os efeitos dos estresses ambientais que influenciam no rendimento, produção dos compostos químicos e o estabelecimento das espécies no ambiente de cultivo.

2.2 Salinidade do solo

Solos afetados por sais caracterizam-se por apresentarem uma concentração elevada de íons, principalmente, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{-2} e HCO_3^- , capaz de comprometer o crescimento das plantas e afetar algumas propriedades físicas do solo. Além disso, representam um dos principais obstáculos para a expansão da produção agrícola a nível mundial (JAMIL *et al.*, 2007; MUNNS; TESTER, 2008).

A acumulação de sais em solos é decorrente da riqueza do material de origem e das condições ambientais dominantes, especialmente no que se refere ao clima e relevo. Os processos naturais associados diretamente à pedogênese são vistos como a fonte principal de todos os sais presentes nos solos. Entretanto, o acúmulo de sais resultante da ação antrópica, denominada salinização secundária, resulta em um maior impacto social e econômico e, geralmente, está associada ao manejo inadequado da irrigação (CORDEIRO, 2001; NOVAIS *et al.*, 2007).

Problemas resultantes do acúmulo de sais são comuns em regiões áridas e semiáridas, onde há elevada demanda evapotranspirativa e baixa precipitação pluvial. Em áreas irrigadas, adicionalmente, a presença de lençol freático elevado e drenagem deficiente favorecem a presença e dominância, em algumas regiões, de solos com concentrações de sais solúveis limitantes ao desenvolvimento das plantas.

Em áreas irrigadas, além da drenagem deficiente, a exploração irracional dos recursos hídricos, a utilização de água de baixa qualidade sem adoção de técnicas especiais de manejo e a aplicação excessiva de fertilizantes ao longo do ciclo produtivo das plantas são alguns dos fatores determinantes para o enriquecimento de sais no solo e águas subterrâneas (FREIRE *et al.*, 2003). No entanto, a gravidade dos problemas provenientes da salinidade

varia a depender das condições climáticas e edáficas, assim como, do conhecimento existente acerca do manejo no sistema água, solo e planta.

2.3 Efeito da salinidade no crescimento das plantas

O efeito da salinidade sobre as plantas pode ser explicado por duas fases: a primeira está relacionada ao efeito osmótico, no qual a alta concentração de sais no solo reduz a capacidade da planta de absorver água, podendo induzir à condição de déficit hídrico; e a segunda refere-se ao efeito específico dos íons caracterizado pela redução do crescimento em função do acúmulo de sais no interior das plantas, impedindo que a planta os compartimentalize no vacúolo (MUNNS, 1993; ZHU, 2001; ZHU, 2003; MUNNS, 2005).

Algumas respostas das plantas, ao acúmulo de sais no solo é a redução da taxa de crescimento da parte aérea, da condutância estomática e na taxa fotossintética e alterações na membrana celular (FUNG *et al.*, 1998). O motivo pelo qual ocorre redução no crescimento em plantas sob estresse salino é alvo de diversas discussões e controvérsias. Existem evidências de que o decréscimo imediato na taxa de crescimento da parte aérea, promovido pela redução da capacidade de absorção de água, é resultante de sinais hormonais produzidos pelas raízes para a parte aérea, onde haveria um provável papel do ácido abscísico (MUNNS, 2002).

Em longo prazo, o acúmulo de íons nas folhas, via transpiração, resulta em senescência, principalmente das folhas mais velhas, e em redução na emissão de folhas novas. A diminuição da superfície foliar constitui uma das respostas iniciais da planta ao estresse salino e pode estar relacionada a um mecanismo de adaptação da planta, diminuindo a superfície transpirante. Com a inibição da expansão foliar, ocorre uma redução da área destinada ao processo fotossintético, de forma que a planta não será capaz de suprir a necessidade de carboidratos das folhas jovens, e por consequência irá ocorrer uma redução no crescimento da planta (FUNG *et al.*, 1998; TESTER; DAVENPORT, 2003; PARIDA; DAS, 2005).

Durante a submissão de plantas ao estresse salino, todos os processos importantes, tais como fotossíntese, síntese de proteínas e metabolismo de lipídeos, são afetados. De modo que uma das causas da redução na taxa de crescimento das plantas é atribuída a restrições na taxa fotossintética, devido a menor condutância estomática e a consequente limitação na capacidade de absorção de CO₂. Porém, o estresse pode inibir diretamente a divisão e expansão celular, suprimindo o desenvolvimento vegetal (ZHU, 2001; PARIDA; DAS, 2005).

Os processos de crescimento são particularmente sensíveis ao efeito dos sais, de forma que avaliações acerca do crescimento do sistema radicular é uma importante ferramenta em plantas sob estresse salino, uma vez que as raízes estão em contato direto com o solo e são responsáveis pela absorção de água para a parte aérea. Assim, avaliações na taxa de crescimento e produção de biomassa podem servir de critérios simples e precisos para avaliar a contribuição de diferentes processos fisiológicos ocorridos, assim como, a capacidade da planta superar o estresse salino (LARCHER, 2004; JAMIL *et al.*, 2007).

2.4 Trocas gasosas em plantas sob condições de salinidade

Efeitos iônicos e osmóticos induzidos pelo estresse salino resultam em alterações em processos fisiológicos e bioquímicos, incluindo relações hídricas, trocas gasosas, homeostase iônica e nutrição mineral (PARIDA; DAS, 2005; MUNNS; TESTER, 2008). Dentre os processos fisiológicos, o monitoramento das trocas gasosas é uma abordagem comum em plantas sob condições salinas, uma vez que representa uma ferramenta para avaliar o impacto das condições ambientais sobre a produtividade das culturas.

Alterações fisiológicas promovidas pelo estresse podem estar associadas ao efeito osmótico, o qual induz o acúmulo de ácido abscísico que pode causar a redução da condutância estomática, da concentração interna de CO₂, do teor de clorofila e da atividade da rubisco, além de mudanças no transporte de elétrons e acúmulo excessivo de sacarose. Por outro lado, o desequilíbrio iônico pode causar redução da concentração de K⁺ nos cloroplastos e desintegração do fotossistema II (ASHRAF, 2004). Chaves *et al.* (2009) destacam que o efeito do estresse salino nas trocas gasosas evidencia-se, primeiramente, a nível estomático, resultando em uma diminuição inevitável da taxa fotossintética líquida, devido à redução da disponibilidade de CO₂.

A condutância estomática, segundo Flexas e Medrano (2002), é utilizada como uma base para comparação de processos metabólicos, pois há uma forte relação, ou mesmo co-regulação, entre a condutância estomática e a fotossíntese. Sabe-se que o fechamento estomático funciona como uma barreira física à entrada de CO₂ nas células mesofílicas, refletindo em menores taxas de carboxilação. Entretanto, sob condições de estresse, especialmente hídrico e salino, o fechamento estomático é visto como uma resposta positiva da planta para atenuar a perda de água, desde que o aparelho fotossintético seja ajustado a estas condições e não reflita em menor desenvolvimento.

O fechamento parcial dos estômatos diante do estresse salino promove também redução da transpiração foliar, evitando a perda excessiva de água nas folhas. Tendo em vista que ocorre uma diminuição do fluxo de vapor d'água para a atmosfera e, conseqüentemente, da transpiração, na medida em que se fecham os estômatos espera-se esta relação direta entre condutância estomática e transpiração (GONÇALVES *et al.*, 2010).

Silva *et al.* (2010) discorrem que reduções na assimilação de CO₂ e transpiração podem ser parcialmente explicadas pelo fechamento estomático induzido pelo estresse salino. No entanto, a manutenção da concentração interna de CO₂ associada com a baixa taxa de assimilação de CO₂, pode ocasionar um aumento na susceptibilidade a danos fotoquímicos, pois reduções na assimilação de CO₂ causam excesso de energia luminosa no fotossistema II, constituindo uma resposta indireta do fechamento estomático.

2.5 Solutos inorgânicos e orgânicos em plantas sob condições de salinidade

Íons de Na⁺ e Cl⁻ desempenham funções importantes nas plantas, mas a concentração elevada destes sais na solução do solo promove aumento do potencial osmótico, atingindo limites em que a força de absorção das raízes não é suficiente para a absorção de água pelas plantas (MALAVOLTA *et al.*, 2000). O excesso de íons de Na⁺ e Cl⁻ afeta ainda a absorção de outros íons, como K⁺, Ca²⁺ e NO³⁻, e aumenta, excessivamente, as relações Na⁺/K⁺, Na⁺/Ca²⁺ e Na⁺/Mg²⁺ no tecido vegetal (TESTER; DAVENPORT, 2003).

O sódio é absorvido por competição através de carregadores de K⁺ e de Ca²⁺, que se localizam na membrana celular. Uma vez absorvido pela célula o processo de extrusão de Na⁺ exige energia metabólica. A remoção do Na⁺ do citoplasma ou a sua compartimentalização no vacúolo é realizada por proteínas antiporte Na⁺/K⁺, as quais utilizam o potencial eletroquímico oriundo do funcionamento das bombas de H⁺ (PRADO, 2008).

Concentrações elevadas de sais, assim como nas relações existentes entre Na⁺ e K⁺, por exemplo, inativam as enzimas e inibem a síntese proteica, provocando distúrbio no metabolismo celular, de forma que, a capacidade de manter uma relação Na⁺/K⁺ relativamente baixa no citoplasma e transportar os íons Na⁺ e Cl⁻ para longe dos sítios do metabolismo primário são condições críticas para que ocorra o crescimento da planta em condições de estresse salino (TESTER; DAVENPORT, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2010).

Para algumas espécies vegetais, o desenvolvimento de mecanismos complexos, que incluem o ajustamento osmótico, realizado pela compartimentalização de íons inorgânicos, e a síntese de solutos orgânicos, constituem um dos principais mecanismos

empregados para minimizar os efeitos da toxidez causada pelo estresse salino (ALEXIEVA *et al.*, 2003; MELONI *et al.*, 2004). A manutenção de íons K^+ no citosol, também é um importante mecanismo de tolerância por permitir a atividade de muitas enzimas citosólicas, manutenção das membranas e regulação do volume celular (MUNNS; TESTER, 2008).

A acumulação de solutos orgânicos (osmólitos compatíveis) equilibra a concentração de sal no exterior da célula, e, compensa as concentrações dos íons Na^+ e Cl^- no vacúolo, exclusivamente pelas suas estruturas químicas, com baixo peso molecular, proporcionando um ajustamento osmótico, e atua na estabilização de proteínas e na integridade e proteção de membranas celulares contra o efeito desnaturante de concentrações elevadas de sais e outros solutos prejudiciais (MUNNS, 2002; ASHRAF; HARRIS, 2004; PARIDA; DAS, 2005; TURKAN, 2009).

Assim, para minimizar o efeito do estresse salino, as plantas aumentam o potencial osmótico de suas células, sintetizando e acumulando osmólitos compatíveis, tais como aminoácidos, inclusive prolina, compostos quaternários, como a glicina-betaína, e compostos poli-hidroxílicos (carboidratos) que participam no ajustamento osmótico (PARIDA *et al.*, 2002; JALEEL, *et al.*, 2007). O acúmulo desses solutos compatíveis serve, ainda, como reserva de carbono e nitrogênio (BRAY *et al.*, 2000; MUNNS, 2005; PARIDA; DAS, 2005).

O acúmulo de aminoácidos e carboidratos solúveis como osmoprotetores é amplamente estudado em plantas submetidas a estresse salino, pois são os solutos orgânicos que apresentam maior contribuição para o potencial osmótico (AZEVEDO NETO *et al.* (2000; SILVA *et al.* 2009). Cram (1976) apud Ashraf e Harris (2004) destaca que, entre os solutos orgânicos, os açúcares contribuem com até 50% do potencial osmótico total em glicófitas cultivadas sob condições salinas.

A prolina é vista como um osmoprotetor em plantas submetidas a estresse osmótico. É compatível com outros componentes citoplasmáticos e pode ser facilmente convertida em glutamato, que participa da via biossintética de outros aminoácidos essenciais. Diversas espécies vegetais, incluindo halófitas, acumulam altos níveis de prolina em resposta ao estresse osmótico como mecanismo de tolerância à salinidade elevada e ao déficit hídrico (MANIVANNAN *et al.*, 2007).

2.6 Tolerância das plantas à salinidade

A tolerância à salinidade pode ser definida pela habilidade de crescimento das plantas, assim como pela capacidade da planta em completar o seu ciclo de vida em um meio que contenha elevadas concentrações de sais solúveis. Para Munns e Tester (2008) os mecanismos de tolerância à salinidade são agrupados em três categorias: tolerância ao estresse osmótico, uma vez que o estresse osmótico reduz imediatamente a expansão celular das raízes e folhas jovens, e causa o fechamento estomático; exclusão de Na^+ dos limbos foliares, evitando concentrações tóxicas desse íon nas folhas; e, tolerância dos tecidos ao acúmulo de Na^+ e em algumas espécies de Cl^- , esta tolerância requer a compartimentalização de Na^+ e Cl^- no nível celular e intracelular a fim de evitar concentrações tóxicas no citoplasma, principalmente nas células do mesófilo foliar.

Além desses mecanismos, citados por Munns e Tester (2008), Parida e Das (2005) colocam como estratégias para lidar com os efeitos nocivos do estresse salino, a síntese de osmólitos compatíveis, alteração na via fotossintética, mudanças na estrutura das membranas estrutura, a indução de enzimas antioxidantes e a estimulação dos hormônios vegetais. Embora existam muitas discussões acerca dos mecanismos de tolerância à salinidade a manutenção da taxa de crescimento, o acúmulo de íons inorgânicos e a síntese e acúmulo de solutos orgânicos compatíveis, têm sido considerados mecanismos comuns de plantas tolerantes a salinidade (SHANNON; GRIEVE, 1999).

A importância relativa destes diversos processos varia sensivelmente com a espécie, variedades, porta-enxertos, idade da planta e com tempo de exposição ao sal; e possivelmente com as condições ambientais locais associadas à fertilidade do solo, as condições físicas do solo, distribuição de sais no perfil do solo, clima e métodos de irrigação (KOZLOWSKI, 1997; MUNNS; TESTER, 2008). Assim, em algumas condições, como solo seco, uma elevada concentração de Na^+ pode ser benéfico, ajudando a planta a manter a turgescência, entretanto precisa-se manter um equilíbrio entre a utilização de Na^+ e Cl^- para manter a turgescência e a necessidade de evitar a toxicidade química (MUNNS; TESTER, 2008).

A tolerância ao sal pode ser mensurada tendo por base a salinidade limiar, que referencia a redução inicial após a planta alcançar o rendimento máximo esperado, e também pelo percentual de redução no rendimento para cada unidade de condutividade elétrica adicionada acima do valor limiar (SHANNON; GRIEVE, 1999). Índices de rendimento como germinação, produção de biomassa seca da parte aérea e raízes, floração, número de frutos,

resistência das folhas a injúrias, volume de copa, qualidade e sobrevivência das plantas, além de acúmulo de íons específicos em ramos ou folhas, ou a produção de metabólitos são propostos por Shannon e Grieve (1999) para avaliar a tolerância das plantas a salinidade. Munns (2002) coloca que a produção de biomassa e a taxa de sobrevivência são critérios adequados para avaliação da tolerância ao sal em espécies perenes, enquanto para espécies anuais, como hortícolas, a produção de biomassa é mais útil, uma vez que, geralmente, se correlaciona com o rendimento.

2.7 Estresse salino: estudos com plantas medicinais

Alguns estudos foram realizados com a finalidade de reconhecer os mecanismos que permitem a sobrevivência e o rendimento de plantas medicinais em condições ambientais adversas, como estresses hídricos (CHAVES-FILHO; STACCIARINI-SERAPHIN, 2001); nutrição (QUIAO *et al.*, 2001); luminosidade (VENTRELLA; MING, 2000; CARVALHO *et al.*, 2006) e salinidade (KULKARNI *et al.*, 2007; KARRAY-BOURAONI *et al.*, 2009). Entretanto, pouco ainda se conhece a respeito das respostas dessas plantas aos estresses abióticos, especialmente em relação ao estresse salino.

Avaliando o efeito dos níveis de sais no meio de crescimento de plantas de *Trachyspermum ammi*, Ashraf e Orooj (2006) obtiveram um efeito inibitório do NaCl sobre as massas fresca e seca da parte aérea e das raízes, sendo que o efeito adverso do sal foi mais pronunciado na massa radicular quando comparada com a massa da parte aérea. Em relação à concentração de prolina os autores observaram um aumento em sua concentração nas plantas submetidas ao nível mais elevado de sal (120 mmol L⁻¹ de NaCl), mostrando assim o papel do osmólito na tolerância ao sal desta cultura, uma vez que a prolina contribui para a estabilidade da membrana e atenua o efeito do NaCl sobre a interrupção da membrana celular, como explicado por Ashraf e Harris (2004). Em estudo com *Phyllanthus amarus* Jaleel *et al.* (2007) evidenciaram que plantas sob estresse salino são regulamentadas pela síntese de solutos orgânicos e por sistemas antioxidantes.

Bai *et al.* (2008) em trabalho com *Iris lactea*, espécie tolerante a salinidade, encontraram uma redução em relação às variáveis biomassa, altura, concentração de K⁺ e relações K⁺/Na⁺ e Ca²⁺/Na⁺ com o aumento dos níveis de NaCl, e um acréscimo no déficit hídrico e teores de Na⁺ e Cl⁻ com o aumento da aplicação do estresse salino. Bernstein *et al.* (2009) demonstraram uma sensibilidade moderada ao crescimento de manjerição doce à salinidade, com redução no crescimento, ocorrendo já em 25 mM de NaCl. Em relação à

produção de metabólitos secundários, tais como carotenóides, que possuem atividade antioxidante, os autores verificaram aumento nas concentrações foliares proporcionalmente ao aumento do nível de NaCl, indicando estar envolvido na preservação da integridade do tecido que é sugerido pela manutenção dos níveis de clorofila e porcentagem de água do tecido.

Baghalian *et al.* (2008) investigaram o efeito da água salina em variáveis morfológicas e fitoquímicas de camomila e mostraram rendimento agrônomico aceitável da planta, uma vez que a massa seca da flor, parte comercializada, não foi afetada pelo tratamento salino, assim como o valor quantitativo e qualitativo do óleo. Os autores relataram que as variações no conteúdo de apigenina e flavonóides são consideradas uma adaptação fitoquímica a fatores bióticos e abióticos. Também não encontraram qualquer efeito significativo sobre o conteúdo de apigenina entre os diferentes níveis de salinidade testados. Esses dados indicam que a produção e o acúmulo de apigenina, como um aspecto de importância econômica da camomila, podem ser feito de forma usual quando esta planta é tratada com salinidade. Taarit *et al.* (2010) trabalhando com *Salvia officinalis* L. também obtiveram redução no crescimento e no conteúdo de ácidos graxos totais com a aplicação de NaCl, tal resposta foi associada à degradação de lipídios da membrana sob alta salinidade.

2.8 Respostas morfofisiológicas das plantas a luminosidade

Muitos processos fisiológicos nas plantas são influenciados pela radiação que é um dos mais importantes fatores ambientais que afetam a sobrevivência, o crescimento, a reprodução e a distribuição dos vegetais no ambiente (ZHANG *et al.*, 2003). As respostas das plantas a mudanças da luminosidade são diversas. Tem-se mostrado que a aclimatação de uma espécie em ambientes submetida a variações de radiação pode ser baseada na eficácia com que os padrões de alocação de biomassa e respostas fisiológicas são ajustados. Tais mecanismos de aclimatação envolvem alterações nas propriedades de assimilação de carbono pelas folhas e alocação de biomassa em favor da parte vegetativa mais severamente afetada (OSUNKOYA, *et al.*, 1994; ALMEIDA, *et al.*, 2004).

Frigeri (2007) aponta como variáveis morfológicas, que variam em função dos diferentes níveis de irradiância, a relação raiz/parte aérea, massa específica foliar, razão de área foliar. Variáveis estas que estão associadas à área, espessamento, número e arranjo espacial de folhas; biomassa alocada no caule, nas folhas e raízes; biomassa total e; altura e espessura do caule. Como variáveis fisiológicas, Gardwood (1996), destaca a taxa

fotossintética, taxa respiratória, condutância estomática ao vapor de água e eficiência do uso da água.

Além das alterações morfológicas e fisiológicas, as plantas que crescem em condições de luz diferentes das quais estão adaptadas exibem nas folhas características anatômicas e bioquímicas distintas. Comumente, as folhas sob baixa irradiância em contraste com aquelas em pleno sol são mais largas e mais finas e têm maior concentração de clorofila por centro de reação e uma alta proporção de clorofila *b* em relação à clorofila *a* (RAVEN *et al.*, 2001; ZHANG *et al.*, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2010). Lima *et al.* (2011), verificaram que a deficiência de luz influenciou o crescimento e a produção de pigmentos fotossintéticos em plantas de *Achillea millefolium*, causando uma redução significativa no acúmulo de massa seca da parte aérea e aumento nos teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenóides.

Vários são os trabalhos que relatam o efeito da luminosidade no desenvolvimento das plantas. Li *et al.* (2010), atribuíram o maior crescimento de trigo em condições de sombreamento a maior capacidade de captação de luz devido a alterações na arquitetura da copa, juntamente com o maior índice de área foliar, alongamento dos entrenós e pedúnculo, compensando parcialmente a redução da radiação fotossinteticamente ativa. Gondim *et al.* (2007), apontaram que a restrição da radiação solar promoveu alterações morfológicas em plantas de *Colocasia esculenta*, com incremento nos valores de área foliar, alongamento do pecíolo e maior produção de biomassa. Pinto *et al.* (2007), avaliando o crescimento de plantas de *Aloysia gratissima* sob pleno sol, 40% e 80% de restrição de luz registraram menor rendimento de massa seca para as plantas submetidas a 80% de sombreamento.

A menor produção de massa seca em plantas cultivadas em baixos níveis de radiação pode indicar uma redução no processo fotossintético, devido à intensidade de luz ficar abaixo do ponto de saturação luminosa. Em contraposição, a capacidade fotossintética de uma planta pode ser inibida quando exposta a níveis de radiação maiores aos requeridos para a saturação luminosa, refletindo diretamente no desenvolvimento e produção final da planta. (HOPKINS, 1999 apud MELEIRO, 2003).

Avaliando as respostas morfológicas e o desempenho fisiológico de plantas de tomate cultivadas em diferentes disponibilidades de luz Fu *et al.* (2011), correlacionaram a aclimação morfológica do tomateiro a mudanças na área específica foliar, massa seca total e na relação diâmetro/altura da planta. Na condição de baixa luminosidade foi observado uma redução na taxa fotossintética, atribuída à diminuição da densidade dos estômatos e à mudança na estrutura dos cloroplastos.

2.9 A interação entre os estresses ambientais na produção vegetal

O conhecimento das respostas morfofisiológicas e bioquímicas, responsáveis pela aclimatação das plantas às variações ambientais, é essencial para a adoção de tecnologias alternativas de manejo para a produção agrícola. Esse interesse torna-se mais relevante diante da expansão das áreas produtivas, com consequente, necessidade de produção em áreas com presença de fatores adversos a produção vegetal sob o ponto de vista prático e econômico.

Em regiões áridas e semiáridas prevalecem elementos ambientais adversos ao desempenho das culturas, como déficit hídrico, excesso de sais no solo e na água, e altas temperaturas e luminosidade. Tem-se considerado, especialmente, o aumento de solos afetados por sais e as limitações hídricas, devido à exploração irracional, irregularidade e escassez de chuvas, como fatores limitantes à produção de culturas de importância social e econômica. Estas regiões apresentam como agravante altos níveis de irradiância solar, que também podem comprometer a produtividade de culturas, não adaptadas a estas condições, por ocasionarem outro fator estressante, a alta luminosidade (MUNNS, 2002; KEBLAWY *et al.*, 2010).

Nestas condições os organismos vegetais dificilmente são submetidos a um único fator de estresse, em vez disso, os danos causados por uma situação particular é acompanhada por problemas adicionais resultantes da ação de outros fatores agravantes ao desenvolvimento dos vegetais. Por exemplo, a incidência da alta irradiação solar, que provoca diminuição na taxa fotossintética por fotoinibição e fotooxidação dos pigmentos fotossintéticos, é geralmente acompanhada por déficit hídrico (ALEXIEVA *et al.*, 2003).

Estudos atuais registram um grande número de investigações acerca dos efeitos isolados de um fator de estresse sobre o desempenho vegetal. Contudo, em condições de campo, onde as plantas são expostas a múltiplos estresses, os dados publicados, em geral, apresentam as respostas fisiológicas e metabólicas induzidas por estresses abióticos de forma isolada, ao invés de exibir resultados que caracterizem um padrão de respostas comuns à pluralidade desses estresses. As alterações metabólicas induzidas pela exposição simultânea a estresses como seca e calor, por exemplo, são únicas, e não podem ser obtidas a partir dos efeitos isolados dos respectivos estresses (ALEXIEVA *et al.*, 2003; MITTLER, 2006).

Dessa forma, a abordagem experimental, avaliando os efeitos isolados e combinados de fatores adversos, é indispensável para uma concepção mais precisa e detalhada das interações ambientais que afetam negativamente o desempenho vegetal (SILVA, 2008).

2.10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-MOGIB, M.; ALBAR, H. A.; BATTERJEE, S. M. Review: Chemistry of the Genus *Plectranthus*. **Molecules**, King Abdulaziz University, Saudi Arábia, v.7, p.271-301, 2002.
- ALASBAHI, R. H.; MELZIG, M. F. *Plectranthus barbatus*: A Review of Phytochemistry, Ethnobotanical Uses and Pharmacology – Part 1. **Planta Med.** v.76, p.653– 661, 2010.
- ALBUQUERQUE, R. L. Contribuição ao estudo químico de plantas medicinais do Brasil: *Plectranthus barbatus* Andr. e *Plectranthus amboinicus* (Lour) Spreng, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, 166p., 2000.
- ALEXIEVA, V.; IVANOV, S.; SERGIEV, I.; KARANOV, E. Interaction between stresses. **Journal of Plant Physiology**, Varna, p. 1-17, 2003.
- ALMEIDA, L. P.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; ZANELA, S. M.; VIEIRA, C. V. Crescimento inicial de plantas de *Cryptocaria aschersoniana* Mez. submetidas a níveis de radiação solar. **Ciência Rural**, v.34, p.83-88, 2004.
- ASHRAF, M. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. **Flora**, v.199, p.361-376, 2004.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v.166, p.3-16, 2004.
- ASHRAF, M.; OROOJ, A. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* [L.] Sprague). **Journal of Arid Environments**, v.64, p.209–220, 2006.
- AZEVEDO NETO, A.D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: Parte II. Distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.165-171, 2000.
- BAGHALIAN, K.; HAGHIRY, A.; NAGHAVI, M. R.; MOHAMMADI, A. Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). **Scientia Horticulturae**, v.116, p.437-441, 2008.
- BAI, W.; LI P.; LI B.; FUJIYAMA, H.; FAN, F. Some Physiological Responses of *Chinese Iris* to Salt Stress. **Pedosphere**, v.18, p.454-463, 2008.
- BANDEIRA, J. M.; BARBOSA, F. F.; BARBOSA, L. M. P.; RODRIGUES, I. C. S.; BACARIN, M. A.; PETERS, J. A.; BRAGA, E. J. B. Composição do óleo essencial de quatro espécies do gênero *Plectranthus*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.13, p.157-164, 2011.
- BERNSTEIN, N.; KRAVCHIK, M.; DUDAI, N. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. **Annals of Applied Biology**, v.156, p.167-177, 2009.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica. **Política nacional de plantas medicinais e fitoterápicos**. Brasília: Ministério da Saúde, p.60, 2006.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: Buchanan, B.B.; Gruissem, W.; Jones, R.L. (eds). **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: ASPP, p.1158-1203, 2000

CARNEIRO, F. B. **Desenvolvimento e validação de metodologia analítica e avaliação do impacto das condições de cultivo e coleta associados à sazonalidade na produção de óleo essencial de *Plectranthus amboinicus* (Lour) Spreng**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco. CCS. Ciências Farmacêuticas, 2008.

CARVALHO, L. M.; CASALI, V. W. D.; LISBOA, S. P.; BARBOSA, L. C. A.; CECON, P. R. Crescimento e metabolismo em artemísia em função do nível de irradiância. **Horticultura Brasileira**, v.24, p.289-294, 2006.

CHAVES-FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, v.24, p.199-204, 2001.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PIHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p.551-560, 2009.

CORDEIRO, G. G. **Salinidade em Agricultura Irrigada**. Petrolina - PE: Embrapa Semi-Árido. 2001. 38p. (Conceito básico e prático).

COSTA, M. C. C. D. Uso popular e ações farmacológicas de *Plectranthus barbatus* Andr. (Lamiaceae): revisão dos trabalhos publicados de 1970 a 2003. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.8, p.81-88, 2006.

COSTA, M. C.; NASCIMENTO, S. C. Atividade citotóxica de *Plectranthus barbatus* Andr. (Lamiaceae). **Revista Acta Farmacêutica Bonaerense**, v.22, p.155-158, 2003.

FLEXAS, J. Y.; MEDRANO, H. Photosynthetic responses of C3 plants to drought. En: **Advances in Plant Physiology**, vol. IV (ed. HEMANTARANJAN, E). Ed. Scientific Press, Jodhpur, India, p. 1-56, 2002.

FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ÁLVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.227-232, 2003.

FREIRE, M. F. I. Plantas medicinais: a importância do saber cultivar. **Revista Científica Eletrônica Agronomia**. Ano III, ed. 5, p.1-9, 2004.

FRIGERI, R. B. C. **Relação entre raiz e parte aérea de plântulas de espécies arbóreas tropicais sob diferentes níveis de radiação solar**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, 152f, 2007.

- FU, Q.; ZHAO, B.; WANG, X.; WANG Y.; REN, S.; GUO, Y. The Responses of Morphological Trait, Leaf Ultrastructure, Photosynthetic and Biochemical Performance of Tomato to Differential Light Availabilities. **Agricultural Sciences in China**. v. 2, p.1887-1897, 2011.
- FUNG, L. E.; WANG, S. S.; ALTMAN, A.; HÜTTERMAN, A. Effect of NaCl on growth, photosynthesis, ion and water relations of four poplar genotypes. **Forest Ecology and Management**, v.107, p.135–146, 1998.
- GARDWOOD, N. C. Functional morphology of tropical tree seedlings. In: The Ecology of Tropical Forest tree Seedlings (M.D. Swaine, ed.), **UNESCO and Parthenon Publishing group**, p.59-129, 1996.
- GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.378–386, 2010.
- GONDIM, A. R. O.; PUIATTI, M.; CECON, P. R.; FINGER, F. L. Crescimento, partição de fotoassimilados e produção de rizomas de taro cultivado sob sombreamento artificial. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.418-428. 2007.
- JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SANKAR, B. GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANEERSELVAM, R. Alterations in osmoregulations, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.59, p.150-157, 2007.
- JAMIL, M. et al. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. **Scientia Agricola**. v.64, p.111-118, 2007.
- KARRAY-BOURAOUI, N.; RABHIM, M.; NEFFATI, M.; BALDAN, B.; RANIERI, A.; MARZOUK, B.; LACHAËL, M.; SMAOUI, A. Salt effect on yield and composition of shoot essential oil and trichome morphology and density on leaves of *Mentha pulegium*. **Industrial Crops and Products**, v.30, p.338–343, 2009.
- KEBLAWY, A.; ANSARI, F.; SHAMSI, N. Effects of temperature and light on salinity tolerance during germination in two desert glycophytic grasses, *Lasiurus scindicus* and *Panicum turgidum*. **Grass and Forage Science**, v.66, p.173–182, 2010.
- KOZLOWSKI, T. T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology Monograph**, v.1, p.1-29, 1997.
- KULKARNI, M. G. STREET, R. A.; VAN STADEN, J. Germination and seedling growth requirements for propagation of *Dioscorea dregeana* (Kunth) Dur. and Schinz — A tuberous medicinal plant. **South African Journal of Botany**, v.73, p.131–137, 2007.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531p.

LI, H.; JIANG, D.; WOLLENWEBER, B.; DAI, T.; CAO, W. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v.33, p.267–275, 2010.

LIMA, M. C.; AMARANTE, L.; MARIOT, M. P.; SERPA, R. Crescimento e produção de pigmentos fotossintéticos em *Achillea millefolium* L. cultivada sob diferentes níveis de sombreamento e doses de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, p.45-50, 2011.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

LUKHOB, C. W.; SIMMONDS, M. S. J.; PATON, A. J. Plectranthus: A review of ethnobotanical uses. **Journal of Ethnopharmacology**, v.103, p.1-24, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, v.3, n.13, 2000, 201p.

MANIVANNAN, P.; JALEEL, C.; SANKAR, B.; KISHOREKUMAR, A.; SOMASUNDARAM, R.; LAKSHMANAN, G. M. A.; R. PANNEERSELVAM. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.5, p.141–149, 2007.

MATOS, F. J. A. **Plantas Mediciniais - guia de seleção e emprego de plantas usadas em fitoterapia no nordeste do Brasil**. Impr. Universitária/Edições UFC, Fortaleza, p.344, 2002.

MATOS, F.J. A. **Plantas Mediciniais - guia de seleção e emprego de plantas usadas em fitoterapia no nordeste do Brasil**. 3ed. Imprensa Universitária/Edições UFC, Fortaleza, 2007.

MELEIRO, M. **Desenvolvimento de zingiberales ornamentais em diferentes condições de luminosidade**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2003.

MELONI, D. A.; GULOTTA, M. R. MARTÍNEZ, C. A.; OLIVA, M. A. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.16, p.39-46, 2004

MIGLIATO, K. F.; MOREIRA, R. R. D.; MELLO, J. C. P.; SACRAMENTO, L. V.S.; CORRÊA, M. A.; SALGADO, H. R. N. Controle da qualidade do fruto de *Syzygium cumini* (L.) Skeels. **Revista Brasileira de farmacognisia**, v.17, p.94-101, 2007.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v.11, p.15-19, 2006.

MUNNS, R. Physiological processes limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. **Plant Cell Environment**, v.16, p.15-24, 1993.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.239-250, 2002.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New Phytologist**, v.167, p.645-663, 2005.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mecanismos de Salinity Tolerance. **Annual Reviews Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2007, 1017p.

OSUNKOYA, O. O.; A. S. H., J. E.; HOPKINSH, M. S.; GRAHAN, A. Influence of seed size and seedlings ecological attributes on shade-tolerance of rainforest tree species in northern Queensland. **Journal of Ecology**, v.82, p.149-163, 1994.

PARIDA, A.; DAS, A. B.; DAS, P. NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. **Journal Plant Biology**. v.45, p.28-36, 2002.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, p.324-349, 2005.

PASSARINHO-SOARES, H.; FELIX, D.; KAPLAN, M. A., MARGIS-PINHEIRO, M.; MARGIS, R. Authentication of medicinal plant botanical identity by amplified fragmented length polymorphism dominant DNA marker: inferences from the *Plectranthus* genus. **Planta Medica**. v.72, p.929-931, 2006.

PINTO J. E. B. P.; CARDOSO J. C. W.; CASTRO E. M.; BERTOLUCCI S. K.; MELO L. A.; DOUSSEAU S. Aspectos morfofisiológicos e conteúdo de óleo essencial de plantas de alfazema-do-Brasil em função de níveis de sombreamento. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.210-214, 2007.

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

QUIAO, Y. S.; ZHANG, Z.; FANG, J. G. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on leaf flavonoid content and vegetative growth of *Ginkgo biloba* L. **Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology**, v.28, p.8-11, 2001.

RAVEN, P. R.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**, 6ª ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

RICE, L. J.; BRITS, G. J.; POTGIETER, C. J. VAN STADEN, J. *Plectranthus*: A plant for the future? **South African Journal of Botany**. p.1-13, 2011

ROSA, L. A.; CASTILLO, M.; GONZÁLEZ, L. V. P. *Plecthranthus amboinicus* (LOUR.) SPRENG. **Revista Cubana plant medica**, v.3, p.110-115, 1999.

SHANNON, M. C.; GRIEVE. C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.5-38, 1999.

SILVA, S. L. F. **Mecanismos de proteção oxidativa contra estresses isolados e combinados de seca, salinidade e temperatura elevada em cajueiro**. Tese (Doutorado em Bioquímica) Universidade Federal do Ceará, 2008.

SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; LIMA, C. S.; VIÉGAS, R. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansão submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.437-445, 2009.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha* plants. **Journal of Arid Environments**, v.74, p.1130-1137, 2010.

TAARIT, M. B.; MSAADA, K.; HOSNI, K.; Marzouk, B. Changes in fatty acid and essential oil composition of sage (*Salvia officinalis* L.) leaves under NaCl stress. **Food Chemistry**, v.119, p.951-956, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre, ARTMED. 4º ed., 2010, 719p.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v.91, p.503-527, 2003.

TURKAN, I.; DEMIRAL, T. Recent developments in understanding salinity tolerance, **Environmental and Experimental Botany**, v.67, p.2-9, 2009.

VENTRELLA, M. C.; MING, L. C. Produção de matéria seca e óleo essencial em folhas de erva-cidreira sob diferentes níveis de sombreamento e épocas de colheita. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.972-974, 2000.

ZHANG, S.; MA, K.; CHEN, L. Response of photosynthetic plasticity of *Paeonia suffruticosa* to changed light environments. **Environmental and Experimental Botany**, v.49, p.121-133, 2003.

ZHANG, S.; XU, H. K.; LI, Z.; YANG, Y. Flexible and reversible responses to different irradiance levels during photosynthetic acclimation of *Cypripedium guttatum*. **Journal of Plant Physiology**, v.164, p.611-620, 2007.

ZHU, J. K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**, v.6, p.56-71, 2001.

ZHU, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v.6, p.441-445, 2003.

Capítulo 1 – Crescimento e tolerância à salinidade em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* submetidas a diferentes níveis de radiação

RESUMO

No cultivo de plantas medicinais as condições de salinidade e de luz podem exercer influência no rendimento e qualidade final da produção de fitomassa. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes luminosidades e níveis de salinidade na água de irrigação no crescimento e tolerância de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus*. O delineamento experimental foi em parcelas subsubdivididas com cinco repetições, sendo as parcelas referentes ao fator ambiente (pleno sol e telado), as subparcelas aos níveis de salinidade na água de irrigação - CEa (0,7; 1,9; 3,1; 4,3 e 5,5 dS m⁻¹), e as subsubparcelas às três espécies do gênero *Plectranthus* (*P. amboinicus*, *P. barbatus* e *P. grandis*). Ao final do experimento, 60 dias após o transplântio, as plantas foram colhidas, determinando-se a área foliar (AF), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST), relação MSR/MSPA e o grau de tolerância à salinidade. O estresse salino reduziu o crescimento das plantas, sendo as maiores reduções observadas nas plantas expostas a pleno sol. A salinidade influenciou a partição de matéria seca, sendo as raízes mais afetadas do que a parte aérea. Considerando-se a MST, verificou-se que as três espécies se mostraram tolerantes ou moderadamente tolerantes à salinidade de até 3,1 dS m⁻¹. Em relação ao grau de redução na produção MSPA (parte de interesse comercial), poderia recomendar o cultivo de *P. grandis* quando se dispõe de água de irrigação com CEa de até 3,1 dS m⁻¹.

Palavras-chave: estresse salino, plantas medicinais, fatores ambientais, biomassa

ABSTRACT

In the cultivation of medicinal plants salinity and light can have influence on the yield and final quality of the biomass production. The objective of the study was to evaluate the effect of light and salinity levels in irrigation water on growth and salt tolerance of three medicinal species of the genus *Plectranthus*. It was used the completely randomized split plots with five repetitions, the plots had corresponded to the environment of cultivation (full sunlight and greenhouse), the subplots for levels of salinity in the irrigation water – CEw (0.7, 1.9, 3.1, 4.3 and 5.5 dS m⁻¹), and the subsubplots for the three plant species (*P. amboinicus*, *P. barbatus* and *P. grandis*). Sixty days after transplanting, the plants were harvested to determine leaf area (LA), leaf area ratio (LAR), specific leaf area (SLA), shoot dry mass (SDM), root dry mass (RDM), total dry mass (TDM), RDM/SDM ratio, and the degree of salt tolerance. Salinity reduced plant growth, with the greatest reductions observed in plants exposed to full sunlight. Salinity affected the dry matter partitioning, and the roots were more affected than the shoot. Considering the TDM, it was found that the three species were tolerant or moderate tolerance to salinity up to 3.1 dS m⁻¹. Regarding the degree of reduction in shoot dry mass (part of commercial interest), we could recommend the cultivation of *P. grandis* when the available irrigation water present ECw up to 3.1 dS m⁻¹.

Keywords: salt stress, medicinal plants, environmental factors, dry biomass.

1.1 INTRODUÇÃO

Considerado um dos maiores gêneros da família Lamiaceae, o *Plectranthus* é constituído de cerca de 300 espécies, sendo elas ornamentais, comestíveis e medicinais. Possui uma ampla distribuição geográfica, sendo avaliado como um dos gêneros mais ricos em óleos essenciais. O aproveitamento medicinal das espécies do gênero *Plectranthus* responde por aproximadamente 85% de todos os seus usos, dos quais 65% são representados pelas espécies *P. amboinicus* e *P. barbatus* (LUKHOBBA *et al.*, 2006). Seus efeitos farmacológicos têm sido avaliados em diversos trabalhos, os quais mostram a importância e a larga utilização na medicina popular (ABDEL-MOGIB *et al.*, 2002; COSTA, 2006; ALASBAHI; MELZIG, 2010; BANDEIRA *et al.*, 2011; RICE *et al.*, 2011).

No que se refere aos fatores ambientais, as pesquisas sobre espécies de uso medicinal ainda são incipientes. Isso evidencia a necessidade de estudos relacionados ao cultivo destas plantas e suas respostas às diversas condições do ambiente, tais como temperaturas extremas, déficit hídrico ou alagamento, aumento da salinidade do solo, elevada irradiância solar, geadas e presença de patógenos. Tais fatores diminuem a capacidade biossintética dos organismos vegetais, alteram as suas funções normais e causam danos que podem, em situações críticas, conduzir à morte da planta (ALEXIEVA *et al.*, 2003).

O efeito negativo da salinidade dá-se inicialmente pela redução do potencial osmótico no meio de crescimento das plantas, favorecendo uma condição de déficit hídrico. Em segundo lugar, têm-se os efeitos tóxicos dos íons, uma vez que o Na^+ não é prontamente compartimentalizado nos vacúolos, e também a promoção de desequilíbrios nutricionais. A consequência disso são modificações nas atividades metabólicas das células e no processo de alongamento celular, afetando o crescimento da planta, podendo, em casos extremos, ocasionar a morte do organismo como um todo (SAIRAM; TYAGI, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2010).

Com relação à irradiância solar, Zhang *et al.* (2003) apontam que, este fator ambiental é um dos mais importantes, entre aqueles, que afetam a sobrevivência, o crescimento, a reprodução e a distribuição dos vegetais no ambiente. Assim, a luminosidade, como proposto por Morelli e Ruberti (2002), está diretamente associada ao desenvolvimento das plantas, sendo o estímulo ao crescimento, umas das respostas mais características e rápidas à luz, causando alterações morfofisiológicas nos tecidos vegetais.

Dada à importância do gênero *Plectranthus* e a necessidade de estudo em relação ao cultivo de plantas medicinais e suas respostas às condições impostas nos meios de

produção, objetivou-se avaliar as respostas biométricas e a tolerância à salinidade de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* submetidas à diferentes níveis de salinidade e luminosidade.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido de dezembro a agosto de 2011 no Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) da Universidade Federal do Ceará – UFC, situada em Fortaleza - CE, localizada na latitude 3° 44' S, longitude 38° 33' W, na altitude de 20 m. O clima da região é do tipo Aw' (tropical chuvoso), com precipitação de verão-outono pela classificação de Köppen. A média anual de precipitação é de 1523 mm, a evapotranspiração potencial é de 1747,2 mm, a temperatura média anual igual a 26,9°C e a umidade relativa de 69% (SOUSA *et al.*, 2010).

1.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido seguindo um delineamento inteiramente casualizado, em um arranjo com parcelas subdivididas, sendo as parcelas correspondentes ao fator ambiente (telado com 50% de luminosidade - telado, e pleno sol), as subparcelas referentes a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,7, 1,9, 3,1, 4,3 e 5,5 dS m⁻¹), e as subsubparcelas três espécies do gênero *Plectranthus* (*P. amboinicus*, *P. barbatus* e *P. grandis*), com cinco repetições com duas plantas.

1.2.3 Material vegetal e condução do experimento

Foram utilizadas três espécies de plantas do gênero *Plectranthus* (*P. amboinicus*, *P. barbatus* e *P. grandis*). O material vegetal para a produção das mudas foi proveniente do NEPAU e do Horto de Plantas Medicinais da UFC. As mudas foram produzidas a partir de propagação por estacas e colocadas em sacos de polietileno, contendo como substrato uma mistura de arisco + húmus de minhoca, na proporção 2:1, onde permaneceram em casa de vegetação por um período de 40 dias.

Posteriormente, as mudas foram selecionadas quanto à uniformidade, altura e diâmetro da estaca, e transplantadas para vasos plásticos com capacidade para 7,5 litros, contendo o mesmo substrato utilizado para a formação da muda. Após o transplântio as mudas permaneceram durante 10 dias em telado com 50% de luminosidade, a fim de se restabelecerem do estresse sofrido no transplântio e passassem a emitir novas raízes e folhas.

Em seguida as mudas foram expostas a dois níveis de radiação (50% de luminosidade e pleno sol), onde foram submetidas aos tratamentos com água salina por um período de 60 dias.

A irrigação foi realizada com água adicionada a diferentes concentrações de sais, obedecendo aos tratamentos utilizados: 0,7; 1,9; 3,1; 4,3 e 5,5 dS m⁻¹. Para o preparo das soluções foram utilizados os sais de NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O, na proporção equivalente a 7:2:1, entre os cátions Na⁺: Ca⁺⁺: Mg⁺⁺, obedecendo-se a relação entre CEa e sua concentração (mmol_c L⁻¹ = CE x 10), conforme Rhoades *et al.* (2000).

A quantidade de água aplicada foi estimada com o objetivo do solo alcançar a capacidade de campo, adicionando-se uma fração de lixiviação de 0,15 para que a água percole pelo fundo dos vasos de acordo com Ayers e Westcot (1999), a fim de evitar o acúmulo excessivo de sais. A aplicação da água foi feita de forma localizada, para evitar seu contato direto com as folhas.

Durante o período experimental não foi realizado nenhum tratamento contra pragas e doenças. Com a finalidade de corrigir sintomas de deficiência nutricional realizou-se três aplicações de biofertilizante líquido, iniciando aos 35 dias após o transplântio (DAT).

1.2.4 Variáveis avaliadas

1.2.4.1 Área foliar, produção de massa seca e partição de fotoassimilados

As plantas foram coletadas aos 60 dias após o transplântio (DAT) e fracionadas em parte aérea (limbos foliares + hastes) e raízes, determinando-se, em seguida, a área foliar (AF) por meio de um medidor de superfície (LI – 3100, Área Meter, Li-Cor, Inc., Lincoln, Nebraska, USA), a massa seca da parte aérea (MSPA), composta de limbos foliares e hastes, e a massa seca das raízes (MSR). A massa seca (expressa em g planta⁻¹) foi obtida após secagem em estufa, com circulação forçada de ar, a 75°C, até a massa constante. De posse dos dados, determinou-se a relação massa seca das raízes/massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) e a massa seca total das plantas (MST).

1.2.4.2 Tolerância à salinidade

Com os dados de massa seca obtiveram-se as curvas de regressão que mais se ajustaram em relação aos níveis de salinidade do solo. Em seguida, foram calculadas as perdas percentuais em relação ao menor nível de salinidade (redução em %), as quais foram

utilizadas como índices para comparar a tolerância das três espécies estudadas (Tabela 1.1), conforme Fageria *et al.* (2010), sendo a classificação feita separadamente para cada ambiente.

Tabela 1.1 - Classificação de espécies vegetais quanto à tolerância à salinidade, baseando-se na redução do crescimento ou produtividade.

Redução da Produção (%)	Classificação
0 – 20	Tolerante (T)
20 – 40	Moderadamente Tolerante (MT)
40 – 60	Moderadamente Sensível (MS)
> 60	Sensível (S)

Fonte: Fageria *et al.* (2010)

1.2.5 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância para verificação dos efeitos isolados e da interação entre fatores. Os dados relativos à salinidade na água de irrigação e suas interações significativas foram desdobrados em análise de regressão sendo o modelo escolhido pelo R^2 ajustado. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Sistema de Análise de Variância para Dados Balanceados (SISVAR), desenvolvido por Ferreira (2000).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Variáveis de crescimento

A análise de variância para as variáveis de crescimento e partição de fotoassimilados na planta encontra-se representada na Tabela 1.2. Com exceção da MSPA e da MST que não foram influenciadas pelo fator ambiente, verificou-se efeito significativo dos fatores isolados (ambiente, salinidade e espécie) e da interação tripla sobre as demais variáveis estudadas. As interações duplas não apresentaram efeito significativo sobre as variáveis MSPA e MSR/MSPA. A MST, também, não foi influenciada pela interação ambiente vs salinidade (Tabela 1.2).

Tabela 1.2. Resumo da análise de variância para área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST) e relação MSR/MSPA em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

FV	GL	Quadrados médios				
		AF	MSPA	MSR	MST	MSR/MSPA
A	1	4658655,91 ^{**}	3,10 ^{NS}	7,51 [*]	20,29 ^{NS}	0,01 ^{**}
Res _(a)	8	411296,5	7,3	0,71	10,35	0,001
B	4	30506797,15 ^{**}	873,62 ^{**}	200,85 ^{**}	1882,95 ^{**}	0,18 ^{**}
A x B	4	2353063,78 ^{**}	6,88 ^{NS}	5,14 ^{**}	21,88 [*]	0,007 ^{NS}
Res _(b)	32	535718,5	4,61	1,1	6,67	0,003
C	2	62847395,88 ^{**}	470,02 ^{**}	102,72 ^{**}	1010,97 ^{**}	0,08 ^{**}
A x C	2	7020128,90 ^{**}	14,05 [*]	4,79 ^{**}	9,62 ^{NS}	0,01 ^{NS}
B x C	8	2884369,98 ^{**}	16,12 ^{**}	4,23 ^{**}	33,60 ^{**}	0,004 ^{NS}
Ax B x C	8	2362204,67 ^{**}	9,93 [*]	7,34 ^{**}	18,67 ^{**}	0,02 ^{**}
Res _(c)	80	410672	3,69	0,97	4,02	0,004
CV _(a) (%)	-	25,3	16,34	19,95	15,31	16,24
CV _(b) (%)	-	28,88	12,98	23,5	12,29	24,94
CV _(c) (%)	-	25,28	11,62	22,09	9,55	28,18

FV – fontes de variação; GL – graus de liberdade; A – ambiente; B – salinidade; C – espécies; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{NS} – significativo pelo teste F a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

A redução da área foliar em função do aumento da CEa, observada na Figura 1.1A e B, constitui uma das respostas iniciais da planta ao estresse salino e tem sido atribuída à diminuição na divisão celular e expansão da superfície da folha. Tal resposta reduz a

capacidade de produção de fotoassimilados, limitando a produtividade da planta (Parida e Das, 2005; Taiz e Zeiger, 2010). *P. amboinicus* e *P. grandis* tiveram sua área foliar ajustada a um modelo quadrático, observando para a primeira espécie redução da área foliar a partir da CEa de 0,7 dS m⁻¹, enquanto *P. grandis* apresentou aumento da área foliar até a CEa de 1,8 dS m⁻¹, com uma redução drástica para os níveis de CEa seguintes (Figura 1.1A). Em pleno sol a área foliar das três espécies reduziu linearmente com o aumento da CEa, observando que o grau de redução foi maior nas espécies *P. amboinicus* e *P. grandis*, que reduziram a área foliar a taxa constante de 797,92 e 768,75 cm² por unidade de CEa, respectivamente (Figura 1.1B).

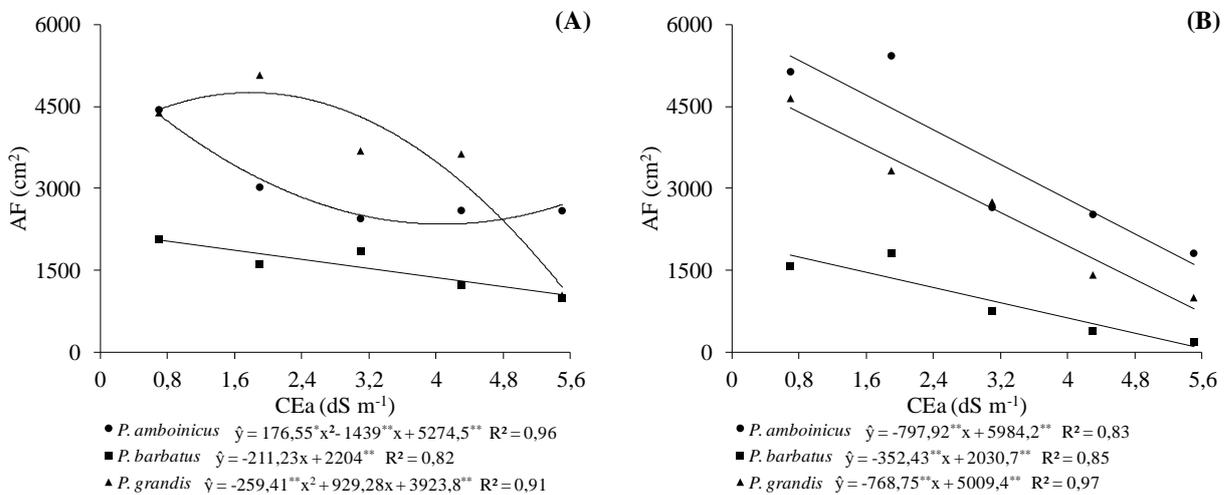


Figura 1.1 – Área foliar (AF) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

A redução da superfície foliar em função dos níveis de salinidade, nas espécies do gênero *Plectranthus*, avaliadas no presente estudo, corroboram com os resultados relatados por Koyro (2006) em plantas *Plantago coronopus*, Bernstein *et al.* (2009) em plantas de *Ocimum basilicum*, por Sabra *et al.* (2012) em espécies de *Echinacea*, e por Tounekti *et al.* (2012) em plantas de *Salvia officinalis*. A redução da área foliar em plantas expostas a salinidade tem sido atribuída à diminuição na divisão celular e expansão da superfície da folha, que ocorre nas fases iniciais da exposição ao estresse salino (PARIDA; DAS, 2005). No entanto, pode ser considerada uma defesa imediata e eficiente contra o déficit hídrico ocasionado pelo excesso de sais no solo visto que, sob tais condições, a planta transpira menos, em função da menor superfície disponível para a perda de água, entretanto, essa redução também reduz a capacidade de produção de fotoassimilados, o que limita a

produtividade da planta sob condições de estresse (CRUZ *et al.*, 2003; TAIZ; ZEIGER, 2010).

O uso da água com níveis crescentes de condutividade elétrica promoveu reduções significativas na massa seca das plantas, sendo o efeito negativo do sal mais pronunciado na MSR quando comparado à MSPA (Figura 1.2 e 1.3). A MSPA de *P. amboinicus* e *P. barbatus* reduziu linearmente com o aumento da CEa, com perda de 3,03 e 1,89 g planta⁻¹ por unidade de CEa, em telado, e de 2,72 e 3,01 g planta⁻¹ por unidade de CEa em pleno sol (Figura 1.2A e B). Já, *P. grandis* apresentou ajuste quadrático, com maior acúmulo de MSPA quando submetida à CEa de 1,3 dS m⁻¹ (Figura 1.2A e B).

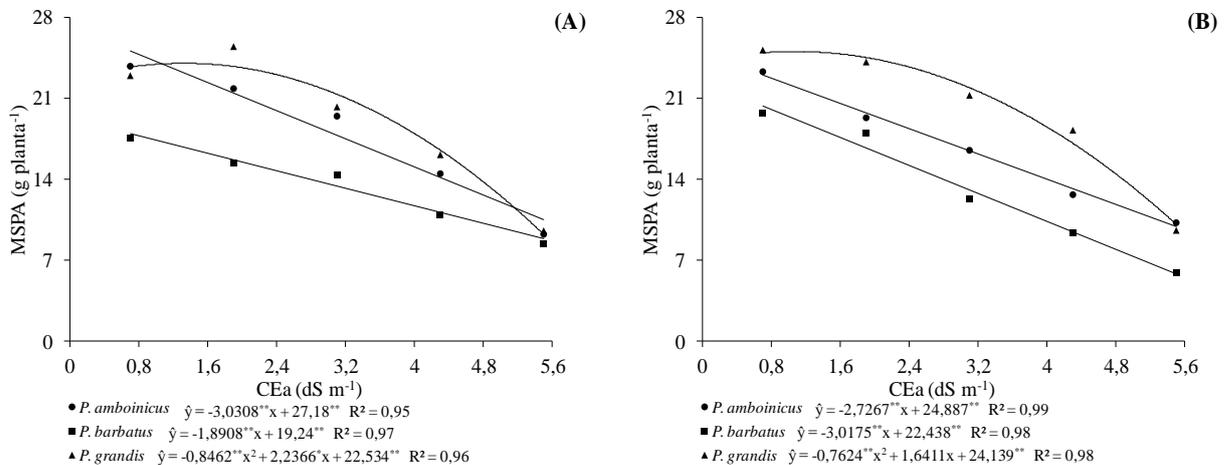


Figura 1.2 – Massa seca da parte aérea (MSPA) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

A MSR de *P. barbatus* e *P. amboinicus* reduziu linearmente com o aumento da CEa, tanto em telado quanto em pleno sol (Figura 1.3A e B). No entanto, estas espécies obtiveram redução máxima na MSR com o aumento da CEa de 0,7 para 5,5 dS m⁻¹ em pleno sol, com perda na ordem de 99,43% para *P. barbatus* e 91,76% para *P. amboinicus* (Figura 1.3B). Contrário à condição ambiental de pleno sol, em telado a MSR de *P. grandis* apresentou maior redução em relação ao controle apenas nas CEa 4,3 e 5,5 dS m⁻¹, com valores na ordem de 46,13% e 88,13%, respectivamente (Figura 1.3A e B), indicando que a restrição parcial de luz pode ter induzido uma melhor aclimação dessas plantas nos níveis mais baixos de CEa.

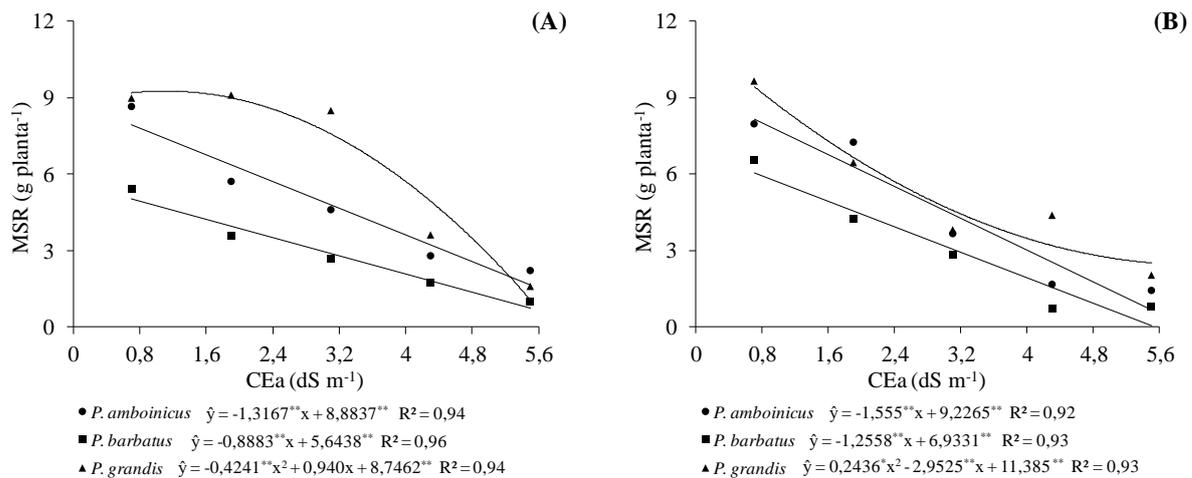


Figura 1.3 – Massa seca radicular (MSR) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

A inibição do crescimento das plantas em ambientes com salinidade pode ser atribuída ao déficit hídrico causado pelo excesso de sais solúveis na zona radicular, o qual causa um decréscimo na turgescência e resulta na diminuição da expansão celular, reduzindo a taxa de crescimento das plantas (Bai *et al.*, 2008; Khalid e Silva, 2010). Essa redução do crescimento pode ainda ser explicada por limitações fotossintéticas, resultantes do fechamento estomático, e concomitante menor assimilação de CO₂, (Debez *et al.*, 2008; Taarit *et al.*, 2010). Além disso, pode estar associada ao gasto energético envolvido na síntese de solutos orgânicos, necessários aos processos de compartimentalização e regulação do transporte de íons (Mendonça *et al.*, 2007).

O aumento de sais na água de irrigação alterou o particionamento de massa seca na planta, estabelecendo uma competição pela distribuição de fotoassimilados entre a parte aérea e as raízes da planta. Como consequência, verificou-se redução na partição de massa seca para as raízes e aumento na proporção de partes aéreas, diminuindo, assim, a relação MSR/MSPA (Figura 1.4A e B). *P. amboinicus* e *P. barbatus* apresentaram redução linear da relação MSR/MSPA em função do aumento da CEa, sendo que as maiores quedas foram verificadas no ambiente a pleno sol. Para *P. grandis* a relação MSR/MSPA ajustou-se a um modelo quadrático, observando, nas plantas cultivadas em telado, maior alocação de massa seca para as raízes na CEa de 1,6 dS m⁻¹. Esta espécie, em pleno sol, obteve maior alocação de massa seca para a parte aérea até a CEa de 3,1 dS m⁻¹.

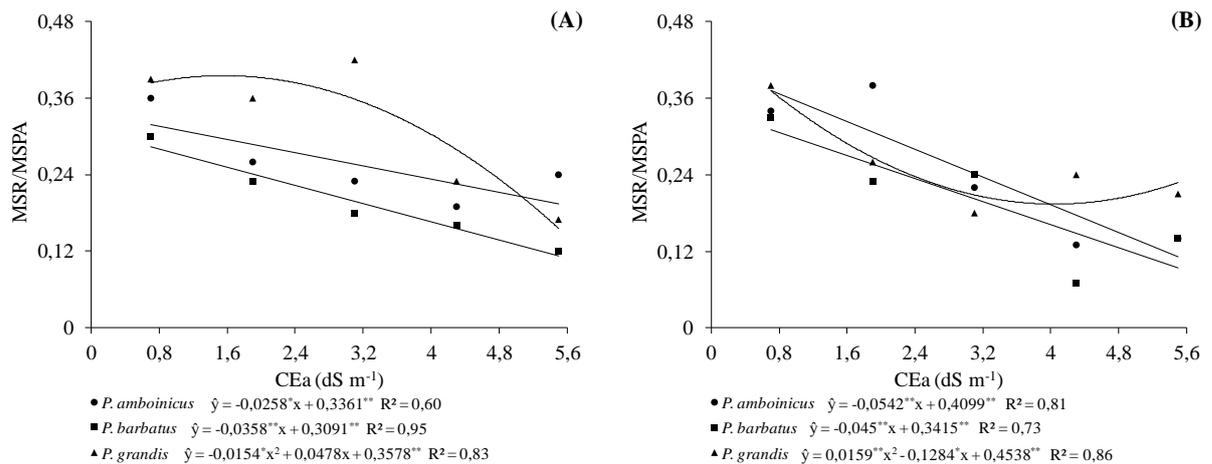


Figura 1.4 – Relação MSR/MSPA em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

1.3.2 Tolerância à salinidade

A tolerância de uma cultura à salinidade reflete a sua capacidade de suportar os efeitos do excesso de sais na zona radicular, sendo variável com fatores do solo e do clima (Qadir *et al.*, 2008). Portanto, a tolerância à salinidade é descrita em termos relativos e, geralmente, dividida em quatro classes: tolerante, moderadamente tolerante, moderadamente sensível e sensível (Maas e Hoffman, 1977; Fageria *et al.*, 2010).

Na classificação para MSR, *P. grandis* e *P. amboinicus* expostas a telado, apresentaram as menores perdas percentuais, sendo classificadas na CEa de 4,3 dS m⁻¹ como moderadamente sensíveis, destacando que *P. grandis* apresentou-se como tolerante até CEa de 3,1 dS m⁻¹ (Tabela 1.3). Já na CEa de 5,5 dS m⁻¹ as três espécies se comportaram como sensíveis, registrando reduções superiores a 90% na MSR de *P. amboinicus* e *P. barbatus* expostas a pleno sol (Tabela 1.3).

P. grandis apresentou menor percentual de redução de massa seca também na parte aérea das plantas, com classificação de tolerante até a CEa de 3,1 dS m⁻¹ (Tabela 1.3). Nas CEa de 4,3 e 5,5 dS m⁻¹, foi observado maior redução da MSPA para *P. barbatus* cultivada em pleno sol, classificando-a nestes níveis de salinidade como moderadamente sensível e sensível à salinidade. A menor tolerância à salinidade da MSR em relação à MSPA (Tabela 1.3), possivelmente, pode estar associada à retenção de altas concentrações dos íons Na⁺ e Cl⁻ nas raízes.

Considerando a MST, *P. grandis* cultivada em telado, apresentou até a CEa de 4,3 dS m⁻¹ menor perda percentual (34,76%), sendo moderadamente tolerante, enquanto que as

demais espécies, independente do ambiente, foram moderadamente sensíveis à CEa de 4,3 dS m⁻¹ (Tabela 1.3). A menor redução da MST obtida por *P. grandis* pode estar relacionada à capacidade dessa espécie em desenvolver mecanismos de tolerância à salinidade, proporcionando sua melhor aclimação ao meio de cultivo salino (Tabela 1.3). Ashraf e Orooj (2006) atribuíram a tolerância moderada à salinidade de *Trachyspermum ammi* à manutenção da alta relação K⁺/Na⁺ e Ca²⁺/Na⁺ na parte aérea dessas plantas. A síntese de osmólitos compatíveis, alteração na via fotossintética, mudanças na estrutura das membranas e a indução de enzimas antioxidantes também são cruciais na tolerância das plantas à salinidade (Parida e Das, 2005).

Tabela 1.3. Análise de tolerância à salinidade de espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em diferentes ambientes (telado e pleno sol), com base no percentual de redução da área foliar (AF), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR) e massa seca total (MST). UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Ambiente	Espécies	Redução em relação ao controle (CEa - 0,7 dS m ⁻¹) (%)			
		1,9 dS m ⁻¹	3,1 dS m ⁻¹	4,3 dS m ⁻¹	5,5 dS m ⁻¹
Massa seca radicular (MSR)					
Telado	<i>P.amboinicus</i>	19,84 ^T	39,68 ^{MT}	59,53 ^{MS}	79,37 ^S
	<i>P. barbatus</i>	21,22 ^{MT}	42,45 ^{MS}	63,67 ^S	84,9 ^S
	<i>P. grandis</i>	2,12 ^T	17,52 ^T	46,21 ^{MS}	88,17 ^S
Pleno sol	<i>P.amboinicus</i>	22,92 ^{MT}	45,85 ^{MS}	68,78 ^S	91,71 ^S
	<i>P. barbatus</i>	24,89 ^{MT}	49,78 ^{MS}	74,67 ^S	99,56 ^S
	<i>P. grandis</i>	29,48 ^{MT}	51,54 ^{MS}	66,16 ^S	73,34 ^S
Massa seca parte aérea (MSPA)					
Telado	<i>P.amboinicus</i>	14,51 ^T	29,02 ^{MT}	43,54 ^{MS}	58,05 ^{MS}
	<i>P. barbatus</i>	12,66 ^T	25,32 ^{MT}	37,99 ^{MT}	50,65 ^{MS}
	<i>P. grandis</i>	0 ^T	9,91 ^T	30,44 ^{MT}	60,99 ^S
Pleno sol	<i>P.amboinicus</i>	14,23 ^T	28,47 ^{MT}	42,71 ^{MS}	56,95 ^{MS}
	<i>P. barbatus</i>	17,81 ^T	35,62 ^{MT}	53,44 ^{MS}	71,25 ^S
	<i>P. grandis</i>	1,64 ^T	12,09 ^T	31,36 ^{MT}	59,45 ^{MS}
Massa seca total (MST)					
Telado	<i>P.amboinicus</i>	15,8 ^T	31,59 ^{MT}	47,39 ^{MS}	63,18 ^S
	<i>P. barbatus</i>	14,54 ^T	29,07 ^{MT}	43,62 ^{MS}	58,14 ^{MS}
	<i>P. grandis</i>	0,47 ^T	12,05 ^T	34,76 ^{MT}	68,60 ^S
Pleno sol	<i>P.amboinicus</i>	16,51 ^T	33,01 ^{MT}	49,52 ^{MS}	66,03 ^S
	<i>P. barbatus</i>	18,04 ^T	36,09 ^{MT}	54,13 ^{MS}	72,17 ^S
	<i>P. grandis</i>	9,43 ^T	23,15 ^{MT}	41,16 ^{MS}	63,45 ^S

^T - Tolerante; ^{MT} - Moderadamente Tolerante; ^{MS} - Moderadamente Sensível; ^S - Sensível.

1.4 CONCLUSÕES

1. O estresse salino induziu reduções significativas no crescimento das três espécies avaliadas, com as maiores reduções no crescimento sendo verificadas nas plantas expostas a pleno sol;
2. A resposta à salinidade da espécie *P. grandis* foi menos influenciada pelo ambiente de cultivo do que nas duas outras espécies estudadas;
3. A salinidade afetou a partição de matéria seca, sendo as raízes mais afetadas do que a parte aérea;
4. Considerando-se a produção de matéria seca total, verifica-se que as três espécies estudadas se mostraram tolerantes ou moderadamente tolerantes à salinidade de até $3,1 \text{ dS m}^{-1}$, porém na salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ todas se mostraram sensíveis ao excesso de sais na água de irrigação;
5. Considerando-se o grau de redução na produção de matéria parte aérea (parte de interesse comercial), poderia-se recomendar o cultivo da espécie *P. grandis* quando se dispõe de água de irrigação com CEa de até $3,1 \text{ dS m}^{-1}$.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-MOGIB, M.; ALBAR, H.A.; BATTERJEE, S. M. Review: Chemistry of the Genus *Plectranthus*. **Molecules**, King Abdulaziz University, Saudi Arábia, v.7, p.271-301, 2002.

ALASBAHI, R. H.; MELZIG, M. F. *Plectranthus barbatus*: A Review of Phytochemistry, Ethnobotanical Uses and Pharmacology – Part 1. **Planta Medica**. v. 6, p.653– 661, 2010.

ALEXIEVA, V.; IVANOV, S.; SERGIEV, I.; KARANOV, E. Interaction between stresses. **Journal of Plant Physiology**, Varna, p.1-17, 2003.

ASHRAF, M.; OROOJ, A. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* [L.] Sprague). **Journal of Arid Environments**, v.64, p.209–220, 2006.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. H. R. Gheyi et al., Campina grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BAI, W.; LI P.; LI B.; FUJIYAMA, H.; FAN, F. Some Physiological Responses of *Chinese Iris* to Salt Stress. **Pedosphere**, v.18, p.454–463, 2008.

BANDEIRA, J. M.; BARBOSA, F. F.; BARBOSA, L. M. P.; RODRIGUES, I. C. S.; BACARIN, M. A.; PETERS, J. A.; BRAGA, E. J. B. Composição do óleo essencial de quatro espécies do gênero *Plectranthus*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.13, p.157-164, 2011.

BERNSTEIN, N.; KRAVCHIK, M.; DUDAI, N. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. **Annals of Applied Biology**, v.156, p.167–177, 2009.

COSTA, M. C. C. D. Uso popular e ações farmacológicas de *Plectranthus barbatus* Andr. (Lamiaceae): revisão dos trabalhos publicados de 1970 a 2003. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.8, p.81-88, 2006.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F.; DIAS, A. T.; PAES, R. A. Produção e partição de matéria seca e abertura estomática do Limoeiro ‘cravo’ submetido a estresse salino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.528-531, 2003.

DEBEZ, A.; KOYRO, H. W.; GRIGNON, C.; ABDELLY, C.; HUCHZERMAYER. Relationship between the photosynthetic activity and the performance of *Cakile maritime* after long-term salt treatment. **Physiologia Plantarum**, v.133, p.73–385. 2008.

FAGERIA, N. K.; SOARES FILHO, W. S.; GHEYI, H. R. 2010. **Melhoramento genético vegetal e seleção de cultivares tolerantes à salinidade**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza, INCT Sal. p. 205-216.

FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2000.

KHALID A.; SILVA, J. A. T. Yield, essential oil and pigment content of *Calendula officinalis* L. flower heads cultivated under salt stress conditions. **Scientia Horticulturae**, v.126, p.297–305, 2010.

KOYRO, H. W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). **Environmental and Experimental Botany**, v.56, p.36–146, 2006.

LUKHOBBA, C. W.; SIMMONDS, M. S. J.; PATON, A. J. *Plectranthus*: A review of ethnobotanical uses. **Journal of Ethnopharmacology**, v.103, p.1-24, 2006.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance - current assessment. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, ASCE 103, p.115-134, 1977.

MENDONÇA, A.V.R.; CARNEIRO, J.G.A. BARROSO, D.G.; SANTIAGO, A.R.; RODRIGUES, L.A.; FREITAS, T.A.S. Características biométricas de mudas de *eucalyptus* sp sob estresse salino. **Revista Árvore**, v.31, p.365-372, 2007.

MORELLI, G.; RUBERTI, I. Light and shade in the photocontrol of arabis growth. **Trends in Plant Science**, v.7, p. 399-404, 2002.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, p.324-349, 2005.

QADIR, M. et al. Productivity enhancement of salt-affected environments through crop diversification. **Land Degradation & Development**, v.19, p.429–453, 2008.

RHOADES, J. P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use saline waters for crop production**. Trad.: GHEYI, H. R.; SOUSA, J. R.; QUEIROZ, J. E. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p.

RICE, L. J.; BRITS, G. J.; POTGIETER, C. J. VAN STADEN, J. *Plectranthus*: A plant for the future? **South African Journal of Botany**. p.1-13, 2011.

SABRA, A.; DAAYF, F.; RENAULT, S. Differential physiological and biochemical responses of three Echinacea species to salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v.135, p.23–31, 2012.

SAIRAM, R. K.; TYAGY, A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. **Current science**, v. 86, p.407-421, 2004.

SOUSA, A. E. C.; BEZERRA, F. M. L.; SOUSA, C. H. C.; SANTOS, F. S. S. Produtividade do meloeiro sob lâmina de irrigação e adubação potássica. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.30, p.271-278, 2010.

TAARIT, M. B.; MSAADA, K.; HOSNI, K; Marzouk, B. Changes in fatty acid and essential oil composition of sage (*Salvia officinalis* L.) leaves under NaCl stress. **Food Chemistry**, v.119, p.951–956, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre, ARTMED. 5° ed., 2010, 719p.

TOUNEKTI, T.; ABREU, M. E.; KHEMIRA, H.; MUNNÉ-BOSCH, S. Canopy position determines the photoprotective demand and antioxidant protection of leaves in salt-stressed *Salvia officinalis* L. plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.78, p.146– 156, 2012.

ZHANG, S.; MA, K.; CHEN, L. Response of photosynthetic plasticity of *Paeonia suffruticosa* to changed light environments. **Environmental and Experimental Botany**, v.49, p.121-133, 2003.

Capítulo 2 – Trocas gasosas e acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* sob diferentes níveis de salinidade e luminosidade

RESUMO

As espécies vegetais quando expostas a condições ambientais adversas não expressam plenamente seu potencial de crescimento, desenvolvimento e produção. O experimento foi realizado no Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) da Universidade Federal do Ceará – UFC, situada em Fortaleza – CE, com o objetivo de avaliar as respostas fisiológicas e bioquímicas de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* ao efeito de diferentes luminosidades e níveis de salinidade na água de irrigação. Utilizou-se o delineamento experimental em parcelas subdivididas, com cinco repetições, sendo as parcelas referentes ao fator ambiente (pleno sol e telado), as subparcelas referentes aos níveis de salinidade na água de irrigação - CEa (0,7; 1,9; 3,1; 4,3 e 5,5 dS m⁻¹), e as subsubparcelas às três espécies do gênero *Plectranthus* (*P. amboinicus*, *P. barbatus* e *P. grandis*). Durante o período experimental foram realizadas duas medidas, aos 30 e 50 dias após o transplante (DAT), para avaliar as trocas gasosas e o índice relativo de clorofila (IRC). Os teores de íons (Na⁺, K⁺, Cl⁻ e a relação Na⁺/K⁺) nas folhas e hastes, e os solutos orgânicos (prolina, N-aminossolúveis e carboidratos) foram obtidos em uma única avaliação após a coleta das plantas, que foi realizada aos 60 DAT. Por ocasião da coleta das plantas, também foram estimadas a razão de área foliar, a área específica foliar e o grau de suculência. A salinidade induziu reduções nas variáveis de condutância estomática, transpiração, e fotossíntese, com maior efeito nas plantas expostas a pleno sol, de modo que as plantas cultivadas em telado apresentaram melhor desempenho fisiológico, tanto na avaliação aos 30 como aos 50 DAT. Na avaliação realizada aos 50 DAT as três espécies apresentaram redução do IRC à medida que se aumentou a CEa. Houve aumento expressivo na acumulação de Na⁺ e Cl⁻, e reduções no teor de potássio, tanto nas hastes quanto nas folhas. Em decorrência do maior acúmulo de sódio nas hastes, a relação dos íons Na⁺/K⁺ nesta parte da planta atingiu valor de 1,6 na CEa de 5,5 dS m⁻¹, indicando um possível desequilíbrio nutricional e toxicidade de íons. Para os solutos orgânicos, o teor de carboidratos não foi alterado com o aumento da CEa, porém os teores de prolina e N-aminossolúveis aumentaram em resposta ao estresse, sendo que no caso da prolina os aumentos foram maiores na espécie *P. grandis* cultivada em pleno sol.

Palavras-chave: plantas medicinais, estresse salino, trocas gasosas, teor de íons, solutos orgânicos.

ABSTRACT

Plant species when exposed to adverse environmental conditions do not express their full potential for growth, development and production. This work was developed at the Center of Teaching and Research in Urban Agricultural of the Federal University of Ceará, Fortaleza, CE, Brazil, in order to evaluate the physiological and biochemical responses of three medicinal species of the genus *Plectranthus* to effect of different luminosities and salinity levels in irrigation water. It was used the completely randomized split plots with five repetitions, the plots had corresponded to the environmental factor (full sunlight and greenhouse), the subplots for levels of salinity in the irrigation water – CEw (0.7, 1.9, 3.1, 4.3 and 5.5 dS m⁻¹) and the subsubplots for (*P. amboinicus*, *P. barbatus* and *P. grandis*). Gas exchange and relative chlorophyll index (RCI) were obtained during the experimental period by means of two measurements taken at 30 and 50 days after transplanting (DAT). The concentration of ions (Na⁺, K⁺, Cl⁻ and Na⁺/K⁺) in leaves and stems, and organic solutes (proline, N-aminosolubles and carbohydrates) were obtained in a single evaluation after plants harvested at 60 DAT. Salinity induced reductions in variables stomatal conductance, transpiration, and photosynthesis, with greater effect in plants exposed to full sunlight, so that plants grown in greenhouse showed better physiological performance in both evaluations at 30 as at 50 DAT. In the evaluation performed at 50 DAT three species showed a decrease of the IRC as it increased CEw. There was significant increase in the accumulation of Na⁺ and Cl⁻, and reductions in potassium content, both in the stems as the leaves. Due to the higher accumulation of sodium in the stems, the ratio of Na⁺/K⁺ in this part of the plant reached a value of 1.5 in CEa of 5.5 dS m⁻¹, indicating a possible nutritional imbalance and ion toxicity. For the organic solutes, the carbohydrate content was not changed with increasing salinity but the concentrations of proline and N-aminosoluble increased in response to stress and in the case of proline elevations were higher in the species *P. grandis* grown in full sunlight.

Keywords: medicinal plants, salinity stress, gas exchange, content of ions, organic solutes.

2.1 INTRODUÇÃO

A salinidade é um problema mundial que resulta na redução do potencial produtivo da maioria das culturas. Este problema é mais grave em regiões áridas e semiáridas, incluindo áreas no Nordeste brasileiro, onde a salinidade é um dos principais fatores limitantes para a produtividade agrícola. Essa tendência é acentuada pela presença de fatores como déficit hídrico, altas temperaturas e luminosidade, expondo, assim, as plantas a uma pressão adaptativa adicional (DEBEZ *et al.*, 2008; SILVEIRA *et al.*, 2012).

Os fatores de estresse abióticos influenciam o desenvolvimento das plantas de diversas formas. Concentrações excessivas de sal na zona radicular das plantas resultam em alterações em processos fisiológicos e bioquímicos, incluindo as relações hídricas, as trocas gasosas, a homeostase iônica e a nutrição mineral (PARIDA; DAS, 2005). O efeito inicial da salinidade é notado com alterações nas relações hídricas, promovendo redução da capacidade de absorção de água pela planta. Estes efeitos iniciais da salinidade são susceptíveis de serem os mesmos para diferentes cultivares tolerantes a salinidade. Entretanto, o acúmulo de íons ao longo do tempo revela a real diferença entre cultivares acerca da tolerância ao sal (MUNNS, 1993; FLOWERS; FLOWERS, 2005).

Vários são os mecanismos de tolerância das plantas à salinidade dentre eles destaca-se a exclusão ou retenção de íons tóxicos, evitando seu acúmulo nos tecidos fotossintetizantes, e o grau de seletividade do transporte de K^+ sobre Na^+ (MUNNS; TESTER, 2008). Uma outra adaptação fisiológica importante para minimizar os efeitos prejudiciais do estresse salino é o ajustamento osmótico, que consiste na acumulação líquida de solutos orgânicos, e inorgânicos, resultando na diminuição do potencial osmótico da célula e na manutenção do gradiente de potencial hídrico favorável à absorção de água e ao aumento da pressão de turgescência (BAI *et al.*, 2008).

Para que o ajustamento osmótico seja efetivo é importante o acúmulo de solutos orgânicos no citoplasma, de modo a neutralizar a concentração excessiva de sais inorgânicos no vacúolo e nas raízes (ZHU, 2001). Entre os solutos orgânicos, denominados de solutos compatíveis, destacam-se: glicina-betaína, manitol, prolina, carboidratos solúveis, dentre outros, os quais se acumulam sem danificar o metabolismo celular (FLOWERS; FLOWERS, 2005). Esse ajuste compartimentalizado permite a manutenção da abertura estomática, da taxa fotossintética e outras importantes atividades fisiológicas (CHAVES-FILHO; STACCIARINI-SERAPHIN, 2001).

Assim como a salinidade, altos níveis de irradiância solar, também, podem comprometer a produtividade das culturas, se constituindo outro importante fator de estresse (MUNNS, 2002; KEBLAWY *et al.*, 2010), particularmente em regiões tropicais. Plantas que crescem sob condições diferentes de irradiância, das quais está adaptada, apresentam modificações morfológicas, anatômicas, fisiológicas e bioquímicas. Em geral, as folhas sob baixa irradiância em contraste com aquelas em pleno sol são mais largas e mais finas e têm maior concentração de clorofila por centro de reação e uma alta proporção de clorofila *b* em relação à clorofila *a* (RAVEN *et al.*, 2001; ZHANG *et al.*, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2010). Gardwood (1996) destaca que a luminosidade influencia a taxa fotossintética, taxa respiratória, condutância estomática ao vapor de água e eficiência do uso da água.

De acordo com Migliato *et al.* (2007), as plantas medicinais produzem diferentes substâncias químicas e o fazem em diferentes proporções, dependendo do habitat, do regime de chuvas, da insolação, das condições de solo, enfim, das condições edafoclimáticas. Lukhoba *et al.* (2006) apontam entre as espécies vegetais utilizadas para fins medicinais, as pertencentes ao gênero *Plectranthus*, que também apresentam potencial ornamental e comestível, sendo que o uso medicinal representa 85% de todo seu potencial.

No Brasil, as espécies de *Plectranthus*, conhecidas como boldo, são utilizadas na medicina popular pelas suas propriedades antidispépticas, analgésicas e estimulantes da digestão (LUKHOBBA *et al.*, 2006). Estudos envolvendo os efeitos farmacológicos de espécies vegetais têm demonstrado o potencial medicinal das plantas do gênero *Plectranthus* (ABDELMOGIB, 2002; COSTA, 2006), explicando sua importância e larga utilização na medicina popular. Entretanto, a realização de estudos enfocando a fisiologia destas plantas em respostas a fatores abióticos, como a salinidade e a luminosidade, ainda são escassos.

Com base no exposto objetivou-se com esse trabalho avaliar os efeitos isolados e combinados da salinidade e luminosidade sobre a fisiologia e bioquímica de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus*.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido de dezembro a agosto de 2011 no Núcleo de Ensino e Pesquisa em Agricultura Urbana (NEPAU) da Universidade Federal do Ceará – UFC, situada em Fortaleza - CE, localizada na latitude 3° 44' S, longitude 38° 33' W, na altitude de 20 m. O clima da região é do tipo Aw' (tropical chuvoso), com precipitação de verão-outono pela classificação de Köppen. A média anual de precipitação é de 1523 mm, a evapotranspiração potencial é de 1747,2 mm, a temperatura média anual igual a 26,9°C e a umidade relativa de 69% (SOUSA *et al.*, 2010).

2.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido seguindo um delineamento inteiramente casualizado, em um arranjo com parcelas subdivididas, sendo as parcelas correspondentes ao fator ambiente (telado com 50% de luminosidade - telado, e pleno sol), as subparcelas referentes a cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação – CEa (0,7, 1,9, 3,1, 4,3 e 5,5 dS m⁻¹), e as subsubparcelas três espécies do gênero *Plectranthus* (*P. amboinicus*, *P. barbatus* e *P. grandis*), com cinco repetições com duas plantas.

2.2.3 Material vegetal e condução do experimento

Foram utilizadas três espécies de plantas do gênero *Plectranthus* (*P. amboinicus*, *P. barbatus* e *P. grandis*). O material vegetal para a produção das mudas foi proveniente do NEPAU e do Horto de Plantas Medicinais da UFC. As mudas foram produzidas a partir de propagação por estacas e colocadas em sacos de polietileno, contendo como substrato uma mistura de arisco + húmus de minhoca, na proporção 2:1, onde permaneceram em casa de vegetação por um período de 40 dias.

Posteriormente, as mudas foram selecionadas quanto à uniformidade, altura e diâmetro da estaca, e transplantadas para vasos plásticos com capacidade para 7,5 litros, contendo o mesmo substrato utilizado para a formação da muda. Após o transplântio as mudas permaneceram durante 10 dias em telado com 50% de luminosidade, a fim de se restabelecerem do estresse sofrido no transplântio e passassem a emitir novas raízes e folhas.

Em seguida as mudas foram submetidas a dois níveis de radiação (50% de luminosidade e pleno sol), onde foram submetidas aos tratamentos com água salina por um período de 60 dias.

A irrigação foi realizada com água adicionada a diferentes concentrações de sais, obedecendo aos tratamentos utilizados: 0,7; 1,9; 3,1; 4,3 e 5,5 dS m⁻¹. Para o preparo das soluções foram utilizados os sais de NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O, na proporção equivalente a 7:2:1, entre os cátions Na⁺: Ca⁺⁺: Mg⁺⁺, obedecendo-se a relação entre CEa e sua concentração (mmol_c L⁻¹ = CE x 10), conforme Rhoades *et al.* (2000).

A quantidade de água aplicada foi estimada com o objetivo do solo alcançar a capacidade de campo, adicionando-se uma fração de lixiviação de 0,15 para que a água percole pelo fundo dos vasos de acordo com Ayers e Westcot (1999), a fim de evitar o acúmulo excessivo de sais. A aplicação da água foi feita de forma localizada, para evitar seu contato direto com as folhas.

Durante o período experimental não foi realizado nenhum tratamento contra pragas e doenças. Com a finalidade de corrigir sintomas de deficiência nutricional realizou-se três aplicações de biofertilizante líquido, iniciando aos 35 dias após o transplante (DAT).

2.2.4 Variáveis avaliadas

2.2.4.1 Trocas gasosas e índice relativo de clorofila

Foram realizadas aos 30 e 50 dias DAT, em folhas completamente expandidas, medições da condutância estomática (*g_s*), taxa de transpiração (*E*), taxa fotossintética (*A*) e temperatura foliar, utilizando-se um aparelho IRGA (Modelo ADC System, ADC, UK). A primeira medição (30 DAT), foi conduzida sob condições naturais de temperatura, luz e umidade, enquanto a segunda leitura (50 DAT) foi realizada com fonte de luz acoplada com intensidade de aproximadamente 1500 μmol m⁻² s⁻¹. As medições foram realizadas no horário entre 9:00 e 12:00 h. A partir dos dados obtidos foram estimados a eficiência intrínseca do uso da água (*A/g_s*) e a eficiência momentânea do uso da água (*A/E*).

Os valores médios de radiação fotossinteticamente ativa e a variação de temperatura do ar, aos 30 DAT, foram de 810 μmol m² s⁻¹ e de 37,7 - 40,3°C no ambiente telado e de 1642 μmol m² s⁻¹ e de 32,4 - 42,6°C em pleno sol. Aos 50 DAT a temperatura do ar durante a medição variou de 33,6 - 40,5°C em telado e de 31,1 - 40,0°C em pleno sol.

Por ocasião das medições das trocas gasosas também foi estimado o índice relativo de clorofila (IRC), utilizando-se o medidor portátil SPAD 502 (Minolta).

2.2.4.2 Razão de área foliar, massa específica foliar e grau de suculência

Utilizando os dados área foliar (AF), massa fresca foliar (MFFO), massa seca foliar (MSFO) e massa seca total da planta (MST), apresentados no Capítulo 1, foi realizado a determinação da razão de área foliar (RAF), da massa específica foliar (MEF) e da suculência foliar (SUC). A RAF foi determinada através da relação AF/MST (BENINCASA, 2003), e os resultados expressos em $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$. A MEF foi obtida pela relação MSFO/AF, e a suculência foliar pela fórmula $(\text{MFFO} - \text{MSFO})/\text{AF}$ (MANTOVANI, 1999), e os resultados foram expressos em g dm^2 .

2.2.4.3 Determinação dos solutos inorgânicos

As amostras vegetais da parte aérea (folhas e hastes), secas em estufa, foram trituradas em moinho tipo Willey, e armazenadas em sacos plásticos à temperatura ambiente. Para a determinação dos teores de Na^+ , K^+ e Cl^- , amostras de 200 mg de massa seca homogeneizadas em 10 mL de água desionizada foram colocadas em tubos hermeticamente fechados e, em seguida, os tubos foram agitados e levados ao banho-maria a 45°C , onde foram agitados em intervalos de 15 minutos, durante 1h. Após esse tempo os tubos foram centrifugados a $3000 \times g$ por 10 min, à temperatura ambiente, conforme metodologia de Cataldo *et al.* (1975). Para a realização das análises de Na^+ , K^+ e Cl^- , o sobrenadante foi filtrado, utilizando-se papel filtro, e armazenado em freezer.

Os teores de Na^+ e K^+ foram determinados em fotômetro de chama (MALAVOLTA *et al.*, 1989), calibrado com solução padrão de 20 ppm de Na^+ e 20 ppm de K^+ . Os conteúdos de Na^+ e de K^+ foram expressos em g kg^{-1} de massa seca dos tecidos vegetais amostrados.

Para a determinação do Cl^- , foi utilizado uma alíquota do extrato, completada para 3,0 mL com água deionizada. Em seguida, foi adicionado 0,5 mL de mistura de Hg $(\text{SCN})_2$ a 13,2 mM, em metanol, e de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ a 20,2% (4 + 1), lendo-se a absorbância a 460 nm após 10 minutos, sendo usado como branco uma mistura de 3 mL de água deionizada mais 0,5 mL do reagente $\text{Hg}(\text{SCN})_2 - \text{Fe}(\text{NO}_3)_3$. Os teores de Cl^- foram determinados por meio de uma curva de calibração, utilizando-se o NaCl como padrão, preparada nas condições anteriores

(GAINES *et al.*, 1984). Cada repetição foi dosada por uma amostra simples, e os resultados foram expressos em g kg^{-1} de massa seca dos tecidos vegetais amostrados.

2.2.4.4 Determinação de solutos orgânicos

Os teores de solutos orgânicos (carboidratos, N-aminossolúveis e prolina) foram obtidos em amostras de tecidos foliares armazenadas em freezer e posteriormente liofilizadas.

O extrato para a determinação dos teores de solutos orgânicos, foi obtido a partir da homogeneização de amostras de 200 mg em 10 mL de água desionizada, e colocadas em tubos hermeticamente fechados; em seguida os tubos foram agitados e levados ao banho-maria a 45 °C, onde foram agitados 1 hora durante em intervalos de 15 minutos. O extrato obtido foi centrifugado a 3000 x g por 10 min, à temperatura ambiente (CATALDO *et al.*, 1975). O sobrenadante foi filtrado, utilizando-se papel filtro, e armazenado em freezer para a realização das análises posteriores.

A concentração de prolina foi obtida a partir da adição de 1 mL do extrato, 1 mL ninhidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial em tubos de ensaio com tampa rosqueável. Os tubos de ensaio foram hermeticamente fechados e agitados vigorosamente, para homogeneização da mistura e, levados ao banho-maria a 100°C durante 1 h. Em seguida a mistura da reação foi interrompida colocando-se os tubos em banho de gelo e adicionado 2 mL de tolueno. Após a agitação vigorosa dos tubos de ensaios, foi realizada a extração da fase menos densa da mistura com o auxílio de pipeta Pasteur e a absorbância lida em 520 nm, tendo como branco um tubo de ensaio contendo tolueno (BATES *et al.*, 1973). Os teores de prolina foram determinados por meio de uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de prolina e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

A concentração de carboidratos solúveis foi determinada com base no método desenvolvido por Dubois *et al.* (1956), sendo adicionados a cada tubo de ensaio 40 μL de extrato diluído em 60 μL de água deionizada, 100 μL de fenol a 5% e 500 μL de ácido sulfúrico concentrado, seguido de agitação vigorosa da mistura de reação. Após resfriamento, os carboidratos solúveis foram quantificados em espectrofotômetro a 490 nm, sendo usado como branco uma mistura formada de 100 μL de água, com 100 μL de fenol a 5% e 500 μL de ácido sulfúrico concentrado. Os teores de carboidratos solúveis foram determinados por meio de uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de glicose anidra. Os resultados obtidos foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

Para a quantificação de N-aminossolúveis foi utilizado o método descrito por Yemm e Cocking (1955). Em tubos de ensaio com tampas rosqueadas foram adicionados 300 μL do extrato diluído em 200 μL de água desionizada, 250 μL do tampão citrato de sódio (pH 5,0) a 0,2 M, 500 μL de KCN a 0,1 M e 100 μL de ninhidrina a 5% em metilcelosolve a 100%. Após homogeneização, os tubos fechados foram deixados em banho-maria a 100°C, por um período de 20 min. A reação foi interrompida por meio de resfriamento dos tubos de ensaio em banho de gelo. Em seguida, foi adicionado 650 μL de etanol a 60% para fixar a cor desenvolvida (violeta). As leituras foram efetuadas em espectrofotômetro a 570 nm, sendo o branco preparado com 500 μL de água deionizada adicionada aos reagentes utilizados para o preparo da leitura da amostra. Os teores de N-aminossolúveis, foram determinados com base em uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de L-glicina, e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol g}^{-1}$ de matéria seca.

2.2.5 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Sistema de Análise de Variância para Dados Balanceados (SISVAR), desenvolvido por Ferreira (2000). Os dados avaliados foram submetidos à análise de variância e, após a verificação da significância pelo teste F, os fatores ambiente e espécie e interações envolvidas que apresentaram F significativo tiveram suas médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Enquanto, o fator salinidade e suas interações, quando significativas, foram submetidos a análise de regressão sendo o modelo escolhido pelo R^2 ajustado.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Trocas gasosas e índice relativo de clorofila (IRC)

Na medição realizada aos 30 DAT, verificou-se efeito significativo dos fatores salinidade e espécie e da interação ambiente *vs* espécie sobre a temperatura foliar (Tabela 2.1). Os fatores isolados (ambiente, salinidade e espécies) e as interações destes fatores influenciaram significativamente as variáveis: condutância estomática, transpiração, taxa fotossintética e eficiência momentânea do uso da água. A eficiência intrínseca do uso da água não foi influenciada pelos fatores ambiente e espécie (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Resumo da análise de variância para as variáveis: temperatura foliar, condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), taxa fotossintética (*A*), eficiência momentânea do uso da água (*A/E*) e eficiência intrínseca do uso da água (*A/g_s*) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 30 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

FV	GL	Quadrados médios					
		30 DAT					
		<i>gs</i>	<i>E</i>	Temp. foliar	<i>A</i>	<i>A/E</i>	<i>A/g_s</i>
AMB	1	0,088**	21,47*	37,96 ^{NS}	461,34**	4,32*	515,01 ^{NS}
Resíduo (a)	6	0,0003	2,83	23,53	0,95	0,7	89,46
SAL	4	0,465**	51,81**	6,32**	306,86**	0,38**	2123,42**
AMB x SAL	4	0,094**	9,34**	1,62 ^{NS}	53,90**	0,85**	1189,21**
Resíduo (b)	24	0,002	0,33	1,19	2,01	0,07	99,5
ESP	2	0,606**	91,54**	10,79**	681,92**	2,42**	159,14 ^{NS}
AMB x ESP	2	0,117**	3,59**	18,88**	89,93**	1,07**	811,19**
SAL x ESP	8	0,054**	1,11**	0,83 ^{NS}	7,811**	0,67**	958,16**
AMB x SAL x ESP	8	0,055**	2,65**	0,39 ^{NS}	22,49**	0,26*	647,53**
Resíduo (c)	60	0,001	0,29	1,61	1,69	0,1	83,74
CV _(a) (%)	-	7,15	34,95	12,31	8,9	38,29	18,76
CV _(b) (%)	-	18,11	11,97	2,77	12,95	12,4	19,79
CV _(c) (%)	-	16,43	11,26	3,22	11,87	14,53	18,16

GL – graus de liberdade; AMB – ambiente; SAL – salinidade; ESP – espécies; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{NS} – significativo pelo teste F a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Aos 50 DAT, houve efeito significativo dos fatores salinidade e espécie e da interação destes fatores sobre a temperatura foliar (Tabela 2.2). Os fatores isolados (ambiente,

salinidade e espécies) e as interações destes fatores influenciaram significativamente as variáveis condutância estomática, transpiração e taxa fotossintética (Tabela 2.2). A eficiência momentânea do uso da água foi influenciada significativamente pelos fatores salinidade e espécie e pelas interações salinidade vs espécies e ambiente vs salinidade vs espécies (Tabela 2.2). Para a eficiência intrínseca do uso da água houve efeito significativo de todos os fatores isolados e apenas da interação ambiente vs espécies (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Resumo da análise de variância para as variáveis: temperatura foliar, condutância estomática (*gs*), transpiração (E), taxa fotossintética (A), eficiência momentânea do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/*gs*) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 50 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

FV	GL	Quadrados médios					
		50 DAT					
		<i>gs</i>	E	Temp. foliar	A	A/E	A/ <i>gs</i>
AMB	1	0,201**	11,07**	0,56 ^{NS}	224,57**	3,77 ^{NS}	7384,97*
Resíduo (a)	6	0,001	0,77	130,85	2,525	1,78	1116,09
SAL	4	0,382**	72,96**	7,65**	554,41**	2,45**	12019,6**
AMB x SAL	4	0,021**	1,08*	0,48 ^{NS}	14,421**	0,37 ^{NS}	595,95 ^{NS}
Resíduo (b)	24	0,0006	0,33	0,36	1,93	0,3	476,51
ESP	2	0,176**	25,55**	17,93**	148,57**	2,55*	6056,04**
AMB x ESP	2	0,033**	0,82**	1,42 ^{NS}	15,81**	0,92 ^{NS}	4023,16**
SAL x ESP	8	0,032**	5,61**	2,69**	32,46**	1,72**	356,04 ^{NS}
AMB x SAL x ESP	8	0,005**	1,01**	0,42 ^{NS}	6,34**	1,44*	1107,31 ^{NS}
Resíduo (c)	60	0,0006	0,14	0,71	1,96	0,57	616,84
CV _(a) (%)	-	25,14	32,29	30,85	21,26	46,3	47,73
CV _(b) (%)	-	26,57	21,99	1,63	18,6	19,19	31,19
CV _(c) (%)	-	16,84	14,61	2,28	18,77	26,2	35,48

GL – graus de liberdade; AMB – ambiente; SAL – salinidade; ESP – espécies; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{NS} – significativo pelo teste F a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Na figura 2.1 verifica-se que todas as espécies diminuíram a *gs* à medida que se aumentou os níveis de CEa, observando para as plantas que foram cultivadas em pleno sol (Figura 2.1B e D) menores valores de *gs*, em relação ao telado (Figura 2.1A e C) indicando que a condição ambiental de elevada irradiação solar combinada com a salinidade favoreceu a um maior fechamento parcial dos estômatos.

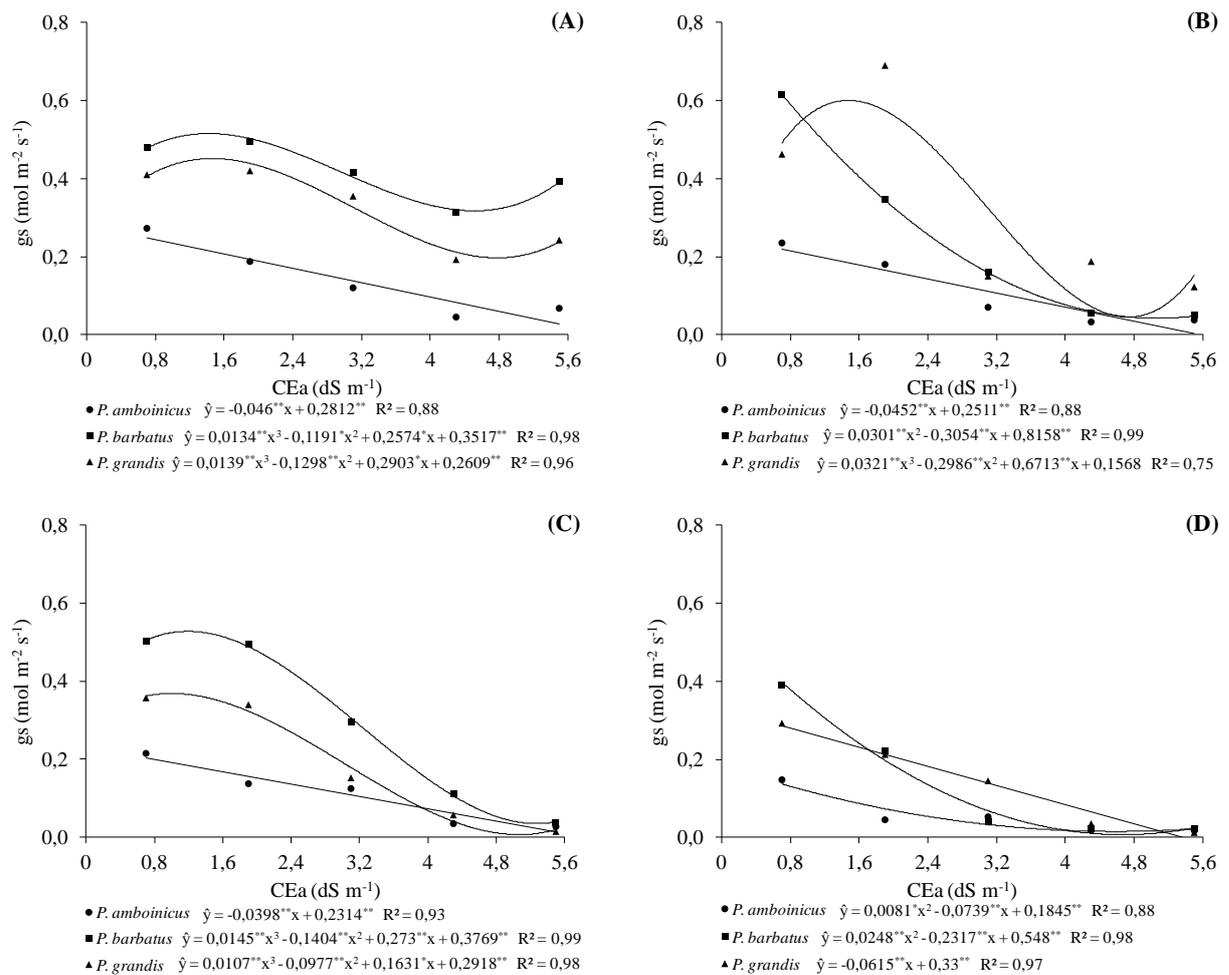


Figura 2.1 – Condutância estomática (g_s) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* aos 30 DAT (A) e (B) e aos 50 DAT (C) e (D) cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e (C) e pleno sol (B) e (D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Em relação a resposta das espécies ao ambiente, aos 30 DAT, a espécie *P. amboinicus* apresentou maior fechamento estomático em telado, com percentual de 88,75% no nível mais elevado de sal ($5,5 \text{ dS m}^{-1}$) em relação ao controle ($0,7 \text{ dS m}^{-1}$), enquanto, nestas condições, *P. grandis* e *P. barbatus* apresentaram, respectivamente, decréscimos de apenas 41,33% e 18,30%. Em pleno sol, o decréscimo na condutância estomática entre os níveis extremos de salinidade ($0,7$ e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$) para *P. amboinicus* e *P. barbatus* foi superior a 90% (Figura 2.1A e B).

Na segunda avaliação realizada aos 50 DAT, quando as plantas já estavam sob um período mais longo de estresse, verificou-se efeito mais acentuado da CEa sobre os valores da g_s , observando redução na g_s acima de 90%, entre a menor CEa ($0,7 \text{ dS m}^{-1}$) e a maior CEa ($5,5 \text{ dS m}^{-1}$), para todas as espécies, tanto quando cultivadas em telado quanto cultivadas em pleno sol (Figura 2.1C e D). Apesar das três espécies apresentarem diferenças no valor de g_s ,

ao serem submetidas ao nível de salinidade de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ os valores de g_s foram semelhantes, com valores médios de $0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em pleno sol, e $0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em telado (Figura 2.1C e D).

A condutância estomática é utilizada como uma base para comparação de processos metabólicos, pois há uma forte relação, ou mesmo co-regulação, entre a condutância estomática e a fotossíntese (FLEXAS; MEDRANO, 2002). Em menores níveis de g_s , os estômatos encontram-se mais fechados, funcionando com uma barreira física à entrada do CO_2 nas células mesófilicas, refletindo em menores taxas de carboxilação. Entretanto, sob condições de estresse, especialmente o hídrico e salino, o fechamento estomático pode ser visto como uma resposta positiva da planta para atenuar a perda de água (TAIZ; ZEIGER, 2010), desde que o aparelho fotossintético seja ajustado a estas condições e não reflita em menor desenvolvimento.

Na figura 2.2 verifica-se que houve uma diminuição na taxa de transpiração das plantas variando com a espécie, com o ambiente de cultivo e com os níveis de CEa; além disso, para todas as espécies houve um decréscimo na taxa de transpiração de acordo com o tempo decorrido do transplântio 30 e 50 dias. A redução da transpiração pode estar associada ao fechamento parcial dos estômatos, observado pelos menores valores de condutância estomática (Figura 2.1).

Aos 30 DAT (Figura 2.2A e B) pode-se observar que as espécies estudadas apresentaram maiores taxas de transpiração quando cultivadas em telado. Avaliando o efeito da salinidade verificou-se que quando cultivadas em pleno sol (Figura 2.2B) as plantas apresentaram uma redução mais drástica na transpiração com o aumento da CEa, com percentuais de 79,17%, 71,70% e 52,18% para *P. amboinicus*, *P. barbatus* e *P. grandis*, respectivamente, entre os níveis de salinidade 0,7 e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$. Enquanto em telado (Figura 2.2A) *P. barbatus* apresentou valores de transpiração na média de $6,55 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em todos os níveis de salinidade testados, e *P. grandis* apresentou redução de apenas 18,46% entre a CEa de 0,7 e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$. Já *P. amboinicus* apresentou em telado resposta similar a pleno sol (Figura 2.2A e B).

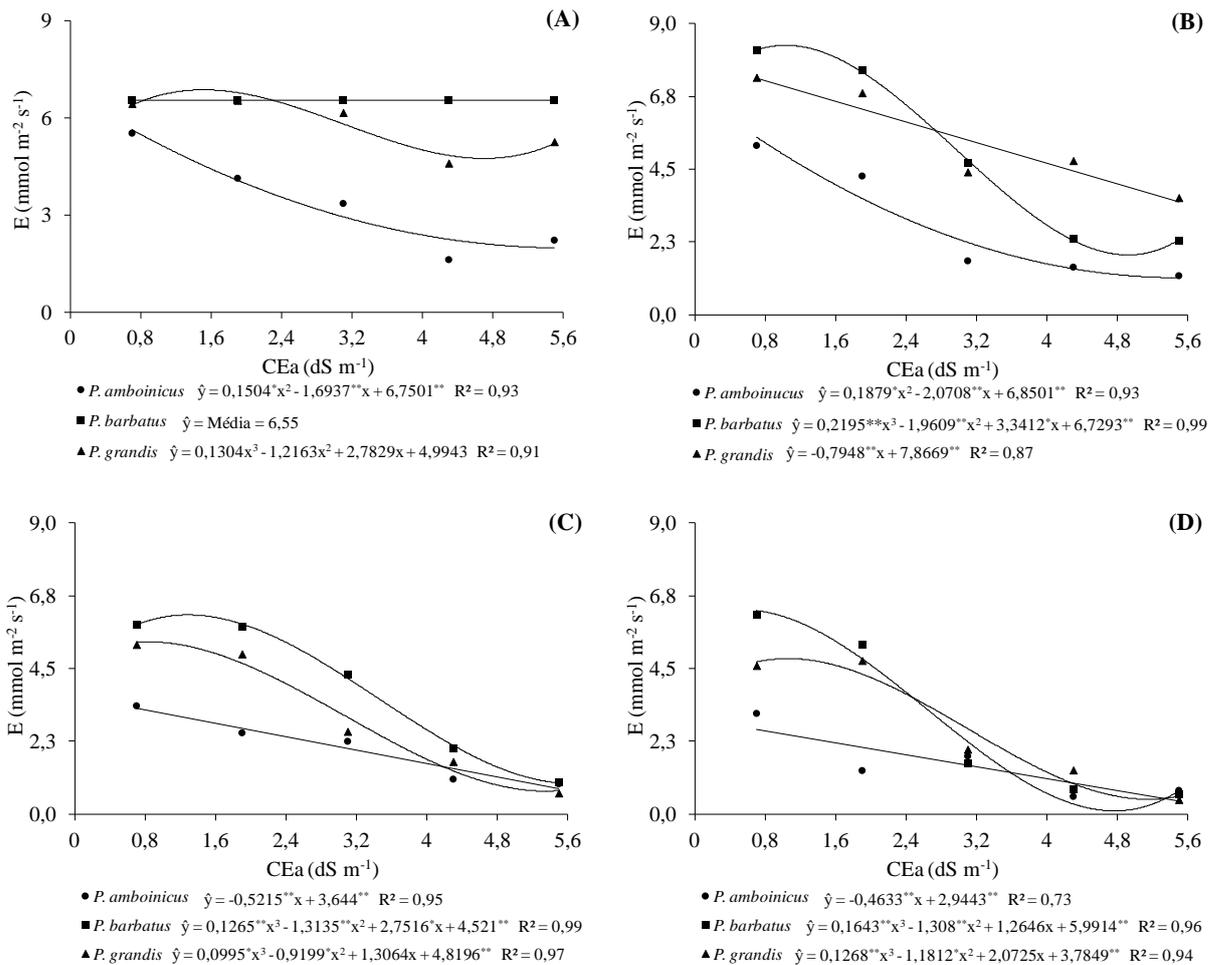


Figura 2.2 – Taxa de transpiração (E) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* aos 30 DAT (A) e (B) e aos 50 DAT (C) e (D) cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e (C) e pleno sol (B) e (D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Na medição de 50 DAT (Figura 2.2C e D) observa-se uma redução na taxa de transpiração para todas as espécies em relação à avaliação de 30 DAT (Figura 2.2A e B), contudo as plantas que foram cultivadas em ambiente telado permaneceram com maiores taxa de transpiração mesmo quando submetidas aos maiores níveis de salinidade (4,3 e 5,5 dS m^{-1}), com valores médios de 1,12, 1,67 e 1,08 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em telado, para as espécies *P. grandis*, *P. barbatus* e *P. amboinicus*, respectivamente, enquanto em pleno sol a *P. grandis* apresentou média de 0,87, a *P. barbatus* de 0,68, e a *P. amboinicus* de 0,67 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 2.2C e D). Assim como registrado aos 30 DAT (Figura 2.42 e B), *P. barbatus* e *P. grandis* apresentaram aos 50 DAT (Figura 2.2C e D) uma redução mais acentuada da transpiração com o incremento da CEa.

Como resultado da redução da transpiração ocasionada pelos efeitos negativos da salinidade ocorreu um aumento da temperatura foliar, verificando aos 30 DAT (Figura 2.3)

um aumento linear da temperatura foliar em função dos níveis crescentes de CEa, registrando a partir da CEa de 3,1 dS m⁻¹ valor superior a temperatura média do ar (39,32 °C), obtida durante a leitura. Ludlow e Muchow (1990) apud Fiuza (2010) colocam que a manutenção da temperatura foliar igual ou levemente inferior à temperatura do ar é uma resposta desejável para plantas, pois demonstra a capacidade de refrigeração, via transpiração, no intuito de manter a planta protegida das faixas térmicas muito elevadas.

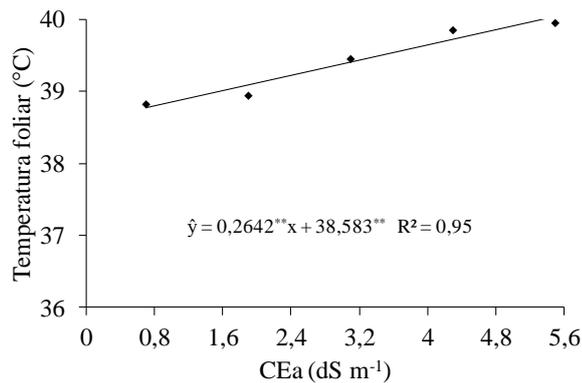


Figura 2.3 – Temperatura foliar aos 30 DAT a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Na medição realizada aos 30 DAT verifica-se que a temperatura foliar da espécie *P. barbatus* foi superior em pleno sol, diferindo significativamente da condição ambiental de telado, enquanto a temperatura foliar das demais espécies não apresentou diferença significativa em relação aos ambientes de cultivo (Tabela 2.3). Observa-se, ainda, que tanto em telado quanto em pleno sol a temperatura foliar não diferiu nas três espécies avaliadas (Tabela 2.3). Comparando a temperatura foliar com a do ar verifica-se que apenas *P. amboinicus* e *P. barbatus*, cultivadas em telado e pleno sol, respectivamente, apresentaram temperatura foliar superior a temperatura do ar.

Tabela 2.3 - Temperatura foliar em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, aos 30 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Espécie	Temperatura (°C)	
	Telado	Pleno sol
<i>P. grandis</i>	38,45 aA	39,30 aA
<i>P. barbatus</i>	38,63 bA	41,28 aA
<i>P. amboinicus</i>	39,35 aA	39,32 aA

Médias seguidas da mesma letra, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com relação ao efeito da salinidade observa-se na figura 2.4 que aos 50 DAT houve um aumento linear da temperatura foliar de 1,98°C e de 2,44°C para as espécies *P. barbatus* e *P. grandis*, respectivamente, com o acréscimo da CEa de 0,7 para 5,5 dS m⁻¹, enquanto *P. amboinicus* apresentou temperatura média de 36,53°C.

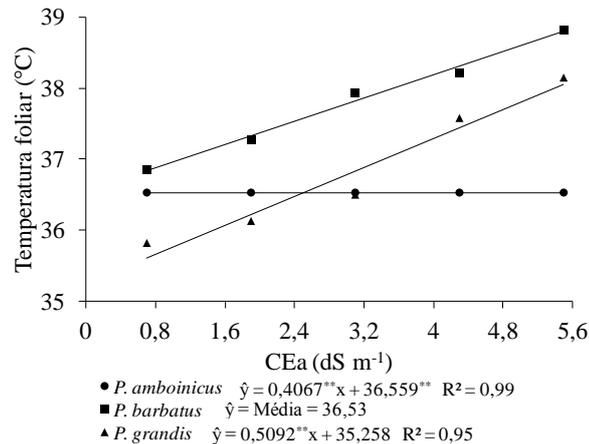


Figura 2.4 – Temperatura foliar em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* em função de níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 50 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Assim como para g_s e E (Figuras 2.1 e 2.2), a salinidade influenciou negativamente a assimilação de CO₂, de forma particular para cada espécie e condição de luminosidade, apresentando efeito mais pronunciado em pleno sol (Figura 2.5). Comparando as três espécies estudadas, verifica-se aos 30 DAT que *P. amboinicus* apresentou a menor taxa fotossintética (Figura 2.5A e B). Esta espécie apresentou maior desempenho na taxa fotossintética no ambiente telado, com valor médio de 7,13 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto em pleno sol apresentou valor médio 5,26 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Em ambiente com menor irradiação solar (telado), aos 30 DAT, *P. barbatus* apresentou valores constantes de 17,04 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ taxa fotossintética, enquanto em pleno sol registrou-se um decréscimo de 19,89 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para 4,03 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, entre a CEa de 0,7 e 5,5 dS m⁻¹. Para os mesmos níveis de CEa, *P. grandis* apresentou redução na assimilação de CO₂ de 16,66 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para 12,56 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em ambiente telado, enquanto em pleno sol a taxa de assimilação líquida de CO₂ caiu de 17,37 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para 6,80 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, representando uma redução de 60,85% (Figura 2.5A e B).

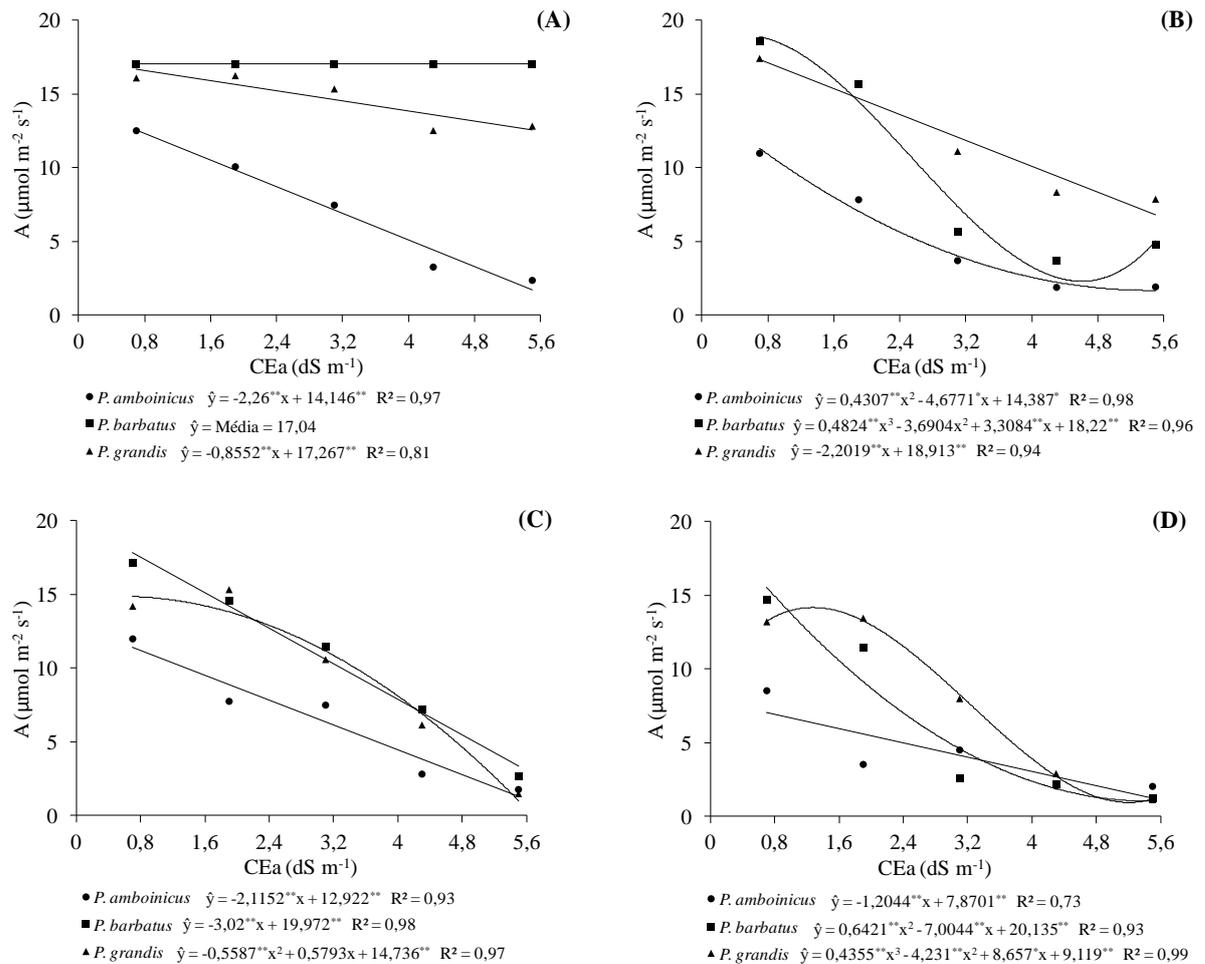


Figura 2.5 – Taxa fotossintética (A) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* aos 30 DAT (A) e (B) e aos 50 DAT (C) e (D) cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e (C) e pleno sol (B) e (D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Na segunda medição da taxa fotossintética líquida, aos 50 DAT (Figura 2.5C e D), o efeito da salinidade mostrou-se mais crítico em relação à primeira medição, aos 30 DAT (Figura 2.5A e B). Quando cultivadas em telado, as espécies *P. barbatus* e *P. grandis* apresentaram, nos níveis intermediários de salinidade, médias similares na taxa fotossintética. Esta resposta não foi encontrada em pleno sol, onde nos níveis de salinidade $1,9 \text{ dS m}^{-1}$ e $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ *P. grandis* apresentou taxa fotossintética líquida de $11,47 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $8,26 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, enquanto a espécie *P. barbatus* obteve taxa fotossintética de $9,14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na CEa de $1,9$, e de $4,59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a CEa de $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 2.5C e D). Diferente do observado aos 30 DAT (Figura 2.5A e B), aos 50 DAT as espécies *P. barbatus* e *P. grandis* quando submetidas ao estresse salino de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ apresentaram taxa fotossintética líquida nos dois ambientes inferior a $3,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 2.5C e D).

Em geral, as espécies avaliadas apresentaram maiores valores de condutância estomática, transpiração e fotossíntese (Figuras 2.3, 2.4 e 2.5) quando cultivadas em telado, ambiente com 50% de restrição de luz. Resultados semelhantes foram obtidos por Deng *et al.* (2012), que registraram para plantas de *Jasminum sambac* melhor desempenho fotossintético quando cultivadas em ambientes com 50% de irradiância. Quando exposta a 100% de irradiância essa espécie apresentou uma redução na *gs*. Esses mesmos autores explicaram que em condição de alta luminosidade as plantas sofreram uma fotoinibição. Resultados contrários foram relatados por Lima Jr. *et al.* (2005) em plantas jovens de *Cupania vernalis*, as quais tiveram suas taxas fotossintéticas reduzidas quando submetidas a 50 e 70% de sombreamento, exibindo menor condutância estomática e fotossíntese líquida em relação as plantas cultivadas a pleno sol, contudo os autores não observaram diferença para a transpiração entre os tratamentos.

Avaliando o fator salinidade, tem-se que a redução das variáveis fisiológicas mediante o efeito negativo desse fator é amplamente discutida na literatura (ASHRAF, 2004; PARIDA; DAS, 2005; JAMIL *et al.*, 2007; MUNNS; TESTER, 2008). A redução na taxa fotossintética e transpiração podem ser parcialmente explicadas pelo fechamento estomático induzido pela salinidade, sendo, também, limitada por fatores metabólicos causados pela toxicidade de íons específicos nas células e por limitações bioquímicas, tais como a inibição da atividade da rubisco e síntese de ATP (REDDY *et al.*, 2004; PARIDA; DAS, 2005; TAVAKKOLI *et al.*, 2010). No entanto Koyro (2006) explica que reduções na *gs* e *E* pode representar um mecanismo de adaptação para lidar com o excesso de sal, uma vez que o fechamento estomático associado a uma transpiração mínima tende a reduzir a concentração de sais nas folhas.

Tavakkoli *et al.* (2010) sugeriram que limitações fotossintéticas em plantas de cevadas submetidas a alta concentração de Na^+ foram promovidas pela redução na assimilação de CO_2 resultante do fechamento estomático. Enquanto Sabra *et al.* (2012) correlacionaram o fechamento estomático e a subsequente redução na taxa fotossintética, em espécies de *Echinacea*, a elevadas concentração de Na^+ e Cl^- na parte aérea das plantas. Já para Hura *et al.* (2007), tanto os fatores estomáticos quanto os não estomáticos estão associados à redução da fotossíntese; entretanto após um período de exposição prolongada aos sais, a redução da taxa fotossintética, em maior parte, é atribuída a fatores não estomáticos, devido aos distúrbios ocasionados na estrutura e funcionamento do aparato fotossintético. Portanto, a maior redução das taxas de fotossíntese aos 50 DAT pode ser decorrente da intensificação dos efeitos deletérios do estresse salino.

Em relação a eficiência do uso da água, verifica-se na avaliação realizada aos 30 DAT, que as plantas de *P. amboinicus* cultivadas em telado apresentaram a partir da CEa de 3,1 dS m⁻¹ menor A/E, alcançando na CEa de 5,5 dS m⁻¹ uma redução de 49,55% quando comparada a CEa de 0,7 dS m⁻¹ (Figura 2.6A), enquanto em pleno sol a A/E nesta espécie manteve-se constante (Figura 2.6B). Neste ambiente, pleno sol, notou-se que a espécie *P. barbatus* teve sua A/E reduzida nos níveis intermediários de salinidade (1,9, 3,1 e 4,3 dS m⁻¹). Menor A/E, aos 50 DAT, foi mantida pela espécie *P. amboinicus* cultivada em telado, apresentando uma redução de 44,90% entre os níveis extremos de CEa (Figura 2.6C). Já *P. grandis*, cultivada em telado, apresentou aos 50 DAT maior A/E entre a CEa de 1,9 e 4,3 dS m⁻¹ (Figura 2.6C), por outro lado, em pleno sol a relação A/E não foi influenciada com o aumento da CEa, mantendo valores constantes para todas as espécies (Figura 2.6D).

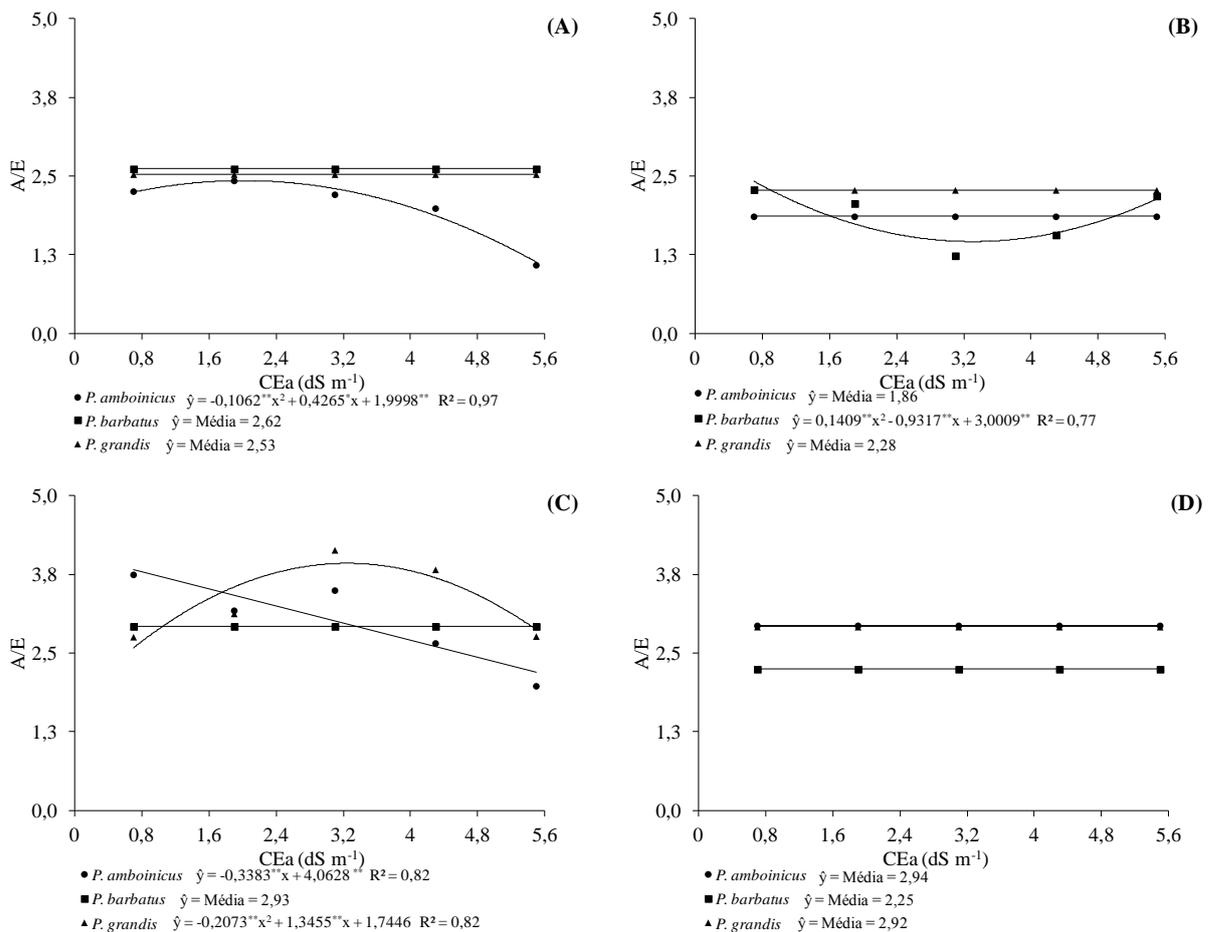


Figura 2.6 – Eficiência momentânea do uso da água (A/E) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* aos 30 DAT (A) e (B) e aos 50 DAT (C) e (D) cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e (C) e pleno sol (B) e (D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Aos 30 DAT, verifica-se que em telado as plantas de *P.amboinicus* apresentaram uma tendência a reduzir a *A/g_s* a partir da CEa de 3,1 dS m⁻¹, enquanto as plantas de *P. grandis* apresentaram aumento linear de 37,47% entre a CEa de 0,7 e 5,5 dS m⁻¹ (Figura 2.7A). Em pleno sol a espécie *P. barbatus* obteve um aumento de 65,41% na *A/g_s* entre a CEa de 0,7 e 5,5 dS m⁻¹, já *P. amboinicus* e *P. grandis* apresentaram valores constantes, com médias de 51,04 e 50,13, respectivamente (Figura 2.7B).

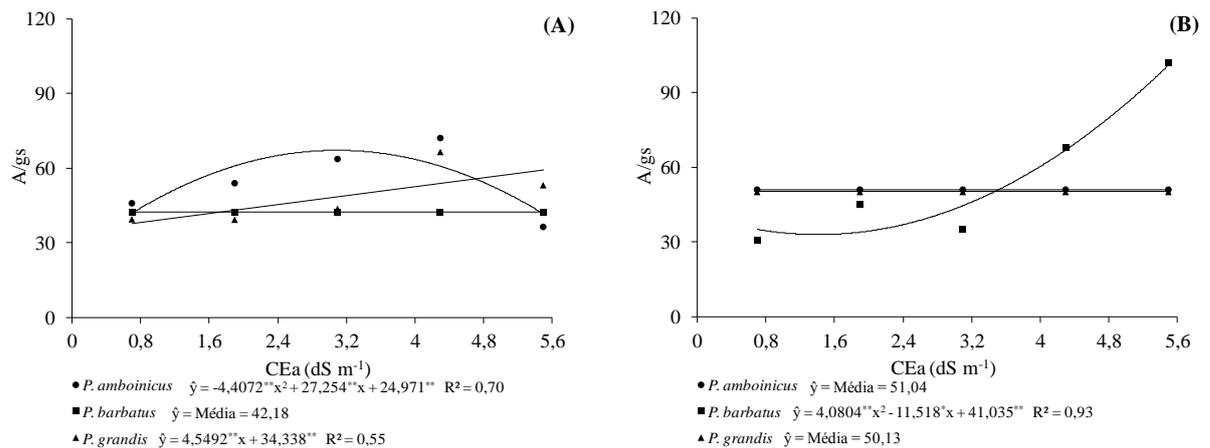


Figura 2.7 – Eficiência intrínseca do uso da água (*A/g_s*) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 30 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Aos 50 DAT a *A/g_s* apresentou aumento linear em função da CEa, com acréscimo de 53,21% nas plantas submetidas a CEa de 5,5 dS m⁻¹ em relação as plantas tratadas com CEa de 0,7 dS m⁻¹ (Figura 2.8).

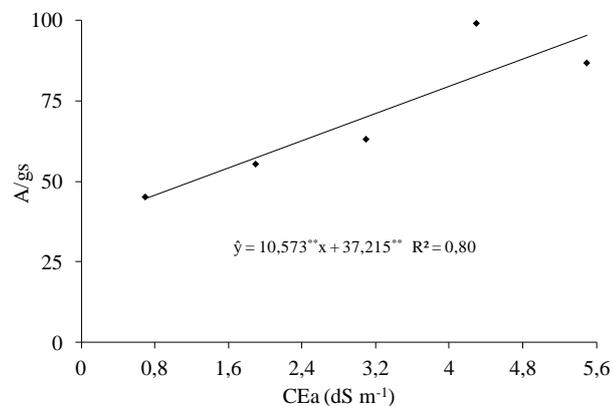


Figura 2.8 - Eficiência intrínseca do uso da água (*A/g_s*) a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 50 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Na tabela 2.4 verifica-se que no ambiente telado as espécies não diferiram entre si na eficiência intrínseca do uso da água. Já em pleno sol *P. amboinicus* apresentou maior A/gs, diferindo das espécies *P. grandis* e *P. barbatus* que não diferiram entre si. Avaliando os dois ambientes, verifica-se que as espécies *P. barbatus* e *P. amboinicus* apresentaram maior A/gs em pleno sol (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Eficiência intrínseca do uso da água (A/gs) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, aos 50 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Espécies	A/gs	
	Telado	Pleno sol
<i>P. grandis</i>	73,76 aA	68,56 aB
<i>P. barbatus</i>	48,41 bA	65,88 aB
<i>P. amboinicus</i>	64,27 bA	99,07 aA

Médias seguidas da mesma letra, minúsculas linhas e maiúsculas colunas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o índice relativo de clorofila, houve efeito significativo dos fatores ambiente, salinidade e espécies e suas interações aos 30 e 50 DAT. No entanto, esta variável não foi influenciada pela interação ambiente vs salinidade nas duas leituras e pela interação tripla na segunda leitura, aos 50 DAT (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Resumo da análise de variância para o índice relativo de clorofila (IRC) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* aos 30 e 50 DAT em função de diferentes luminosidades e níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios	
		30 DAT	50 DAT
		IRC	IRC
AMB	1	79,300**	33,127**
Resíduo (a)	6	5,714	1,883
SAL	4	25,358*	256,106**
AMB x SAL	4	5,287 ^{NS}	6,912 ^{NS}
Resíduo (b)	24	6,293	2,615
ESP	2	336,774**	164,526**
AMB x ESP	2	15,632*	58,905**
SAL x ESP	8	17,913**	26,978**
AMB x SAL x ESP	8	8,239*	2,128 ^{NS}
Resíduo (c)	60	3,881	3,618
CV _(a) (%)	-	9,69	6,49
CV _(b) (%)	-	10,17	7,65
CV _(c) (%)	-	7,99	9,00

GL – graus de liberdade; AMB – ambiente; SAL – salinidade; ESP – espécies; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{NS} – significativo pelo teste F a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Na figura 2.9 observa-se o efeito da interação entre os fatores estudados no índice relativo de clorofila aos 30 DAT, na qual verifica-se que *P. barbatus* e *P. grandis* apresentaram valores constantes de IRC, enquanto *P. amboinicus* apresentou decréscimo no IRC em função do aumento da CEa, apresentando redução nesta variável, entre a CEa de 0,7 dS m⁻¹ e 5,5 dS m⁻¹, 21,58% em telado e de 22,52% em pleno sol.

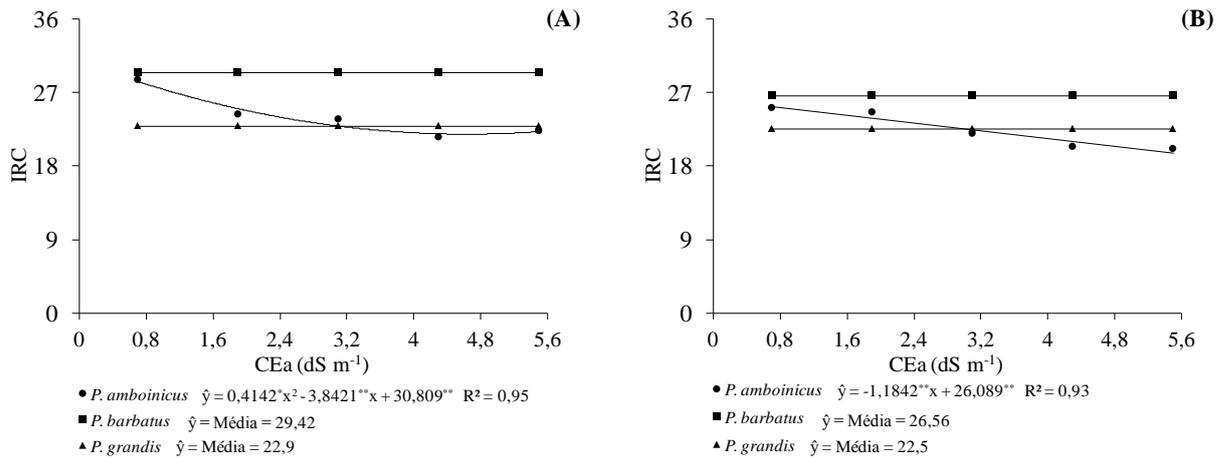


Figura 2.9 – Índice relativo de clorofila (IRC) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B) e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 30 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Aos 50 DAT, verifica-se no ambiente telado que *P. barbatus* apresentou maior IRC diferindo de *P. grandis* e *P. amboinicus* que não diferiram entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Já em pleno sol as maiores médias de IRC foram registradas para *P. amboinicus* e *P. barbatus* que não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (Tabela 2.6). Avaliando os dois ambientes, verifica-se que este fator não influenciou o IRC em *P. grandis* (Tabela 2.6), indicando que para esta espécie a intensidade luminosa não interferiu no conteúdo de clorofila. Resultados semelhantes foram apresentados por Castro *et al.* (2005) em plantas de *Mikania glomerata*, e por Pinto *et al.* (2007) em plantas de *Aloysia gratissima*.

Tabela 2.6 – Índice relativo de clorofila (IRC) aos 50 DAT em folhas de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* em diferentes luminosidade. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Espécies	----- IRC (Unidade - SPAD) -----	
	Telado	Pleno sol
<i>P. grandis</i>	19,56 aB	18,72 aB
<i>P. barbatus</i>	24,99 aA	21,41 bA
<i>P. amboinicus</i>	20,45 bB	21,72 aA

Médias seguidas da mesma letra, minúsculas linhas e maiúsculas colunas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com relação ao efeito da salinidade observa-se na figura 2.10 que aos 50 DAT houve redução no IRC de todas as espécies com o aumento da CEa. Esse decréscimo, entre os níveis de 0,7 e 5,5 dS m⁻¹, foi de 44,56% para *P. amboinicus*, 24,95% para *P. grandis* e 23,88% para *P. barbatus*.

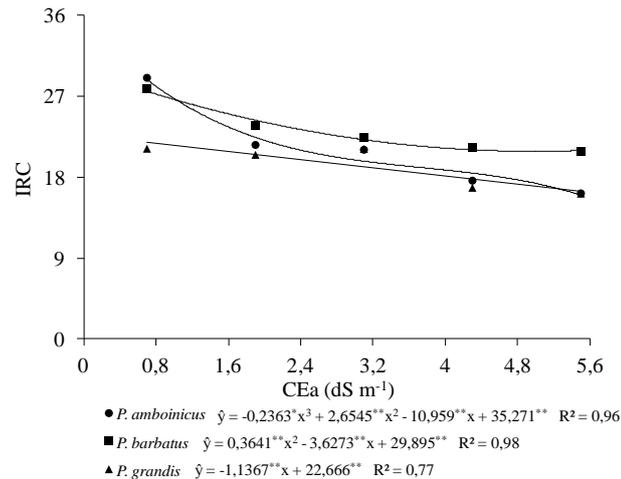


Figura 2.10 – Índice relativo de clorofila (IRC) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* em função de níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação, aos 50 DAT. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Redução nos teores de clorofila em plantas submetidas a salinidade têm sido relatado em trabalhos como os apresentados por Lima *et al.* (2004) em plantas de *Oryza sativa*, por Santos (2004) em plantas de *Helianthus annuus* L. e, por Jamil *et al.* (2007) em plantas de *Raphanus sativus* L., que atribuem os valores reduzidos de clorofila em plantas crescidas em ambiente salino ao aumento da atividade da clorofilase, induzindo a destruição da estrutura do cloroplasto e à instabilidade de complexos de proteínas do pigmento.

Resultados contrários foram encontrados por Graciano *et al.* (2011), que observaram um aumento nos teores de pigmentos fotossintéticos em plantas de *Arachis hypogaea* L. da cultivar BR1, registrando acréscimo de 18,5% no índice relativo de clorofila nas plantas tratadas com solução salina de 8,5 dS m⁻¹ em relação àquelas submetidas a CEa de 1,0 dS m⁻¹. Lacerda *et al.* (2006) relatam que a maior concentração de clorofila em plantas de *Vigna unguiculata* L. submetidas a salinidade pode ser uma evidência da maior espessura do mesófilo associada ao aumento da suculência foliar e da massa específica foliar.

2.3.2 Razão de área foliar, massa específica foliar e grau de suculência foliar

Verificou-se efeito significativo dos fatores ambiente e espécie e das interações dos fatores isolados sobre a razão de área foliar (Tabela 2.7). A massa específica foliar e suculência foliar foram influenciadas significativamente pelo ambiente, salinidade e espécie e suas interações, com exceção das interações salinidade *vs* espécies e ambiente *vs* espécies que

não foram significativas para a massa específica foliar e suculência foliar, respectivamente (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 - Resumo da análise de variância para a razão de área foliar (RAF), massa específica foliar (MEF) e suculência foliar (SUC) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios		
		RAF	MEF	SUC
AMB	1	1,57**	2,08**	143,36**
Resíduo (a)	6	0,07	0,11	10,02
SAL	4	0,10 ^{NS}	0,24**	23,67*
AMB x SAL	4	0,66**	0,42**	47,50**
Resíduo (b)	24	0,07	1,05	5,77
ESP	2	5,79**	1,63**	971,03**
AMB x ESP	2	1,56**	1,47**	6,37 ^{NS}
SAL x ESP	8	0,41**	0,11 ^{NS}	30,24**
AMB x SAL x ESP	8	0,40**	0,17*	37,22**
Resíduo (c)	60	0,06	0,06	5,27
CV _(a) (%)	-	24,10	66,31	36,27
CV _(b) (%)	-	23,98	47,07	27,52
CV _(c) (%)	-	21,03	50,08	27,39

GL – graus de liberdade; AMB – ambiente; SAL – salinidade; ESP – espécies; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{NS} – significativo pelo teste F a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

O aumento da CEa não influenciou a razão de área foliar de *P. grandis* e *P. barbatus*, as quais apresentaram valores médios de 0,97 e 1,36 dm² g⁻¹, respectivamente (Figura 2.11A), indicando que o efeito do estresse salino na área foliar foi da mesma intensidade que na massa seca, como sugerido por Azevedo Neto e Tabosa (2000) em plantas de *Zea mays*. Entretanto, quando expostas a pleno sol houve uma redução linear da RAF em função do acréscimo da CEa, sendo que *P. barbatus* apresentou decréscimo de 54,95% na razão de área foliar, entre a CEa de 0,7 e 5,5 dS m⁻¹, em *P. grandis* a redução foi na ordem de 34,49% (Figura 2.11B). O decréscimo na RAF de *P. barbatus* e *P. grandis* cultivadas em pleno sol pode indicar que estas espécies apresentaram maior eficiência fotossintética, visto que nessas condições houve um maior aproveitamento da área foliar fotossintetizante para a produção de massa seca. *P. amboinicus*, cultivada em telado, apresentou a partir da CEa de 3,1 dS m⁻¹ um aumento na quantidade de área foliar em relação a produção de massa seca

total, alcançando na CEa de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ $2,24 \text{ dm}^2 \text{ g}^{-1}$. Entretanto, esta espécie quando exposta a pleno sol apresentou valor médio de razão de área foliar de $1,66 \text{ dm}^2 \text{ g}^{-1}$ (Figura 2.11).

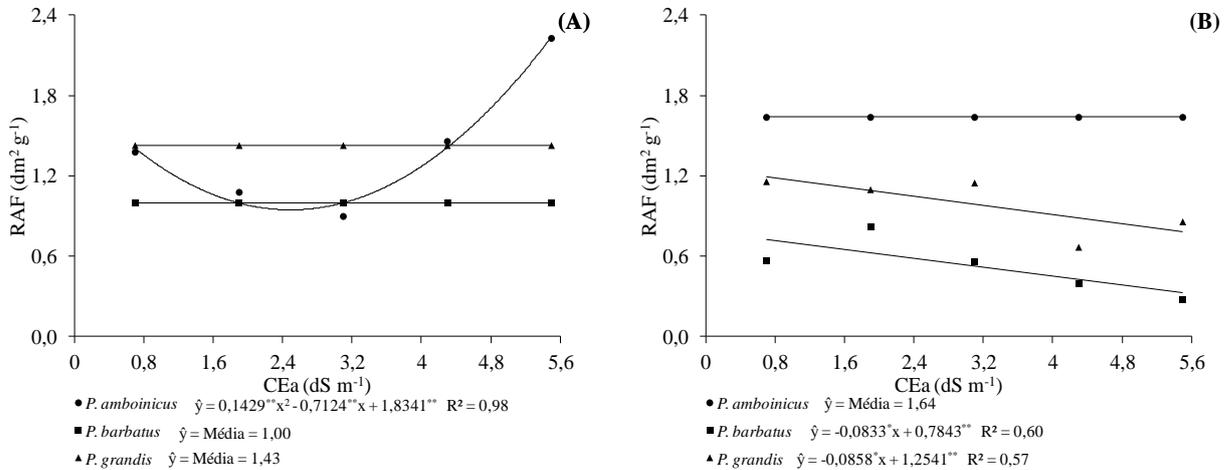


Figura 2.11 - Razão de área foliar (RAF) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Verifica-se na figura 2.12A e B que apenas *P. barbatus*, cultivada em pleno sol, teve sua massa específica foliar alterada em função do aumento da salinidade, apresentando um acréscimo linear de 66,78% entre a CEa de $0,7$ e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$. Em relação a suculência foliar, verifica-se na figura 2.12C que *P. amboinicus* apresentou até a CEa de $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ um acréscimo de 52,96% em relação a CEa de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, enquanto *P. barbatus* e *P. grandis* obtiveram valores médios de $5,10$ e $4,48 \text{ g H}_2\text{O dm}^{-2}$, respectivamente, já em pleno sol (Figura 2.12D) *P. barbatus* apresentou um aumento de 54,85% no grau de suculência foliar entre a CEa de $0,7$ e $5,5 \text{ dS m}^{-1}$. Aumento na massa específica foliar e suculência foliar foi observado por Trindade *et al.* (2006) e Lacerda *et al.* (2006) em plantas de *Vigna unguiculata* submetidas a estresse salino. Segundo Larcher (2000) e Trindade *et al.* (2006) a importância da suculência foliar em plantas expostas a estresse salino deve-se a regulação da concentração de sais nos tecidos foliares e depende diretamente da absorção, transporte e acúmulo de íons nos tecidos foliares, contribuindo para reduzir o efeito dos sais sobre o crescimento da planta.

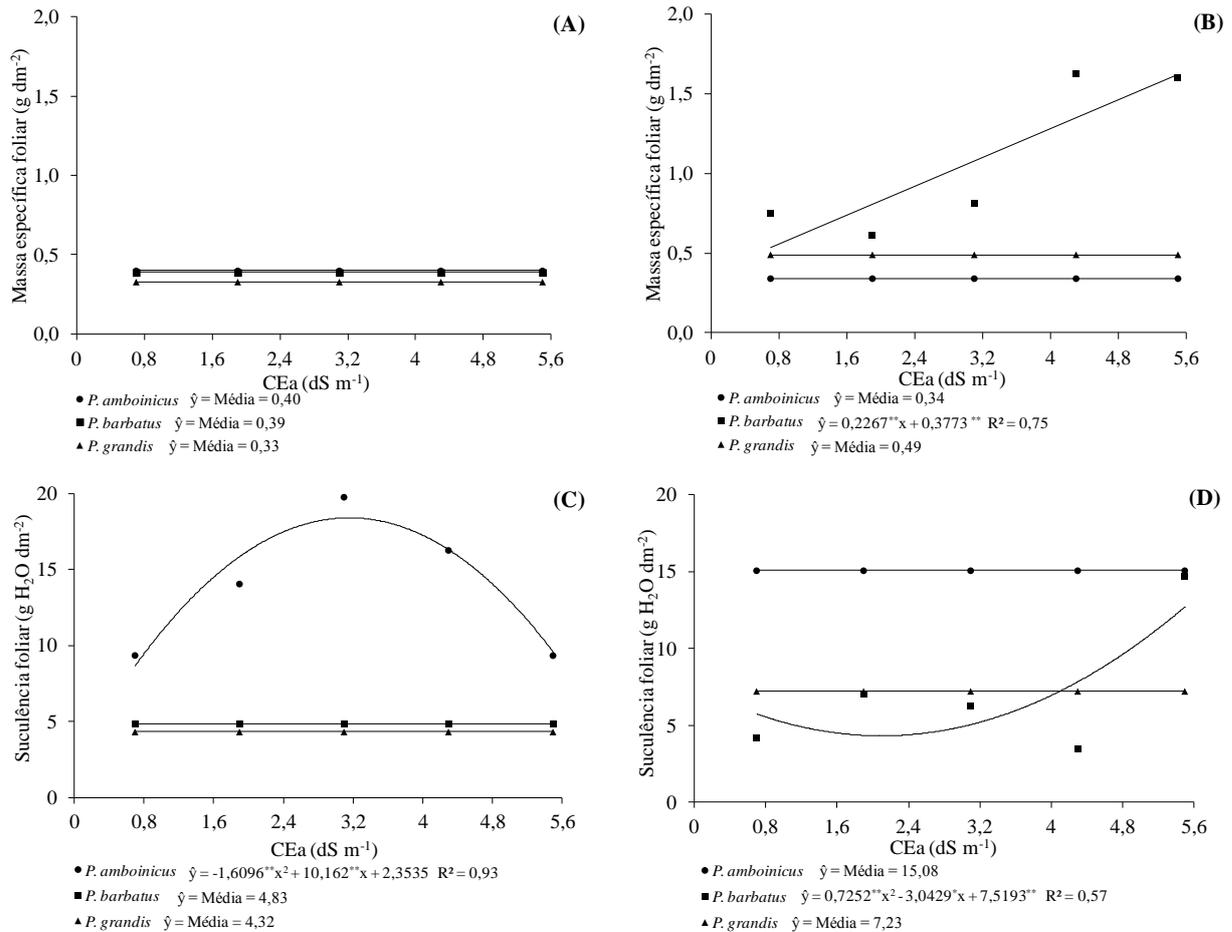


Figura 2.12 – Massa específica foliar (A e B) e succulência foliar (C e D) em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e (C) e pleno sol (B) e (D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

2.3.3 Solutos inorgânicos

Foram observados efeitos significativos dos fatores ambiente, salinidade e espécie para os íons Na⁺, Cl⁻ e K⁺, bem como da interação ambiente vs espécie nas folhas e hastes (Tabela 2.8). A interação ambiente vs salinidade não foi significativa para os íons Na⁺ e Cl⁻ nas folhas, enquanto a interação salinidade vs espécie e ambiente vs salinidade vs espécie não foram significativas apenas para o Cl⁻ nas folhas (Tabela 2.8). Já para a relação Na⁺/K⁺ nas folhas houve influência apenas dos fatores salinidade e espécie e das interações ambiente vs salinidade, salinidade vs espécie e ambiente vs salinidade vs espécie. Enquanto nas hastes a relação Na⁺/K⁺ foi influenciada significativamente, apenas, pelos fatores ambiente e salinidade (Tabela 2.8).

Tabela 2.8 - Resumo da análise de variância para os teores de sódio (Na^+), cloreto (Cl^-) potássio (K^+) e relação Na^+/K^+ em folhas e hastes de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

FV	GL	Quadrados Médios							
		FOLHAS				HASTES			
		Na^+	Cl^-	K^+	Na^+/K^+	Na^+	Cl^-	K^+	Na^+/K^+
AMB	1	5,50**	423,86**	317,90**	0,002 ^{NS}	2243,55**	1403,19**	149,67**	3,82**
Resíduo (a)	6	0,28	2,36	21,55	0,002	4,77	17,22	10,73	0,05
SAL	4	196,34**	1609,28**	1239,44**	0,24**	4200,18**	2031,98**	582,06**	8,43**
AMB x SAL	4	0,49 ^{NS}	15,64 ^{NS}	474,57**	0,01**	112,30**	168,93**	142,33**	0,11 ^{NS}
Resíduo (b)	24	0,53	9,46	25,97	0,01	11,68	7,64	26,89	0,11
ESP	2	45,69**	666,43**	1273,41**	0,015**	727,62**	488,44**	757,63**	0,16 ^{NS}
AMB x ESP	2	40,11**	42,62*	1620,60**	0,001 ^{NS}	41,74*	145,86**	79,82*	0,03 ^{NS}
SAL x ESP	8	8,28**	9,04 ^{NS}	159,06**	0,003**	34,09**	37,06**	88,91**	0,02 ^{NS}
AMB x SAL x ESP	8	4,39**	14,80 ^{NS}	301,35**	0,004**	45,21**	79,73**	83,80**	0,08 ^{NS}
Resíduo (c)	60	1,01	8,94	34,27	0,001	10,18	10,43	24,70	0,03
CV _(a) (%)		8,62	5,72	11,03	31,03	9,14	18,3	11,44	24,27
CV _(b) (%)		11,77	11,45	12,11	33,85	14,31	12,19	18,11	35,18
CV _(c) (%)		16,28	11,13	13,91	22,24	13,36	14,24	17,30	27,39

GL – graus de liberdade; AMB – ambiente; SAL – salinidade; ESP – espécies; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{NS} – significativo pelo teste F a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

O teor de sódio, nas folhas, para todas as espécies aumentou em função do acréscimo da CEa, nos dois ambientes de estudo (Figura 2.13A e B). No ambiente com telado, em todos os níveis de CEa, a espécie *P. amboinicus* apresentou o maior teor de sódio seguida por *P. barbatus* e *P. grandis*, enquanto em pleno sol o maior teor deste íon na folha foi para *P. barbatus*, seguida de *P. amboinicus* e *P. grandis* (Figura 2.13A e B). Comparando o teor de sódio obtida na CEa de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ e na de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$, maior incremento (86,13%) foi registrado para *P. barbatus* cultivada em pleno sol, já o menor incremento (65,82%) foi em *P. grandis* sob condições de telado (Figura 2.13A e B).

Semelhante ao observado para as folhas, o teor de Na^+ nas hastes aumentou em função do acréscimo da CEa nos dois ambientes (Figura 2.13C e D). Porém, verifica-se um maior teor deste íon nas hastes em relação às folhas, sendo observado na espécie *P. amboinicus*, cultivada em pleno sol e exposta a CEa de $5,5 \text{ dS m}^{-1}$, obteve um teor de sódio cerca de 5 vezes mais nas hastes (Figura 2.13D) quando comparadas com as folhas nesse mesmo nível de salinidade (Figura 2.13B). Estes resultados sugerem um mecanismo de compartimentalização do sódio nas hastes, protegendo as folhas do maior efeito tóxico desse íon.

Entre os ambientes verificou-se para as três espécies que até a CEa de $3,1 \text{ dS m}^{-1}$ as plantas cultivadas em pleno sol obtiveram teor de Na^+ nas hastes aproximadamente duas vezes mais em relação ao do telado (Figura 2.13C e D). No entanto, no nível mais elevado de CEa, $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ os teores de Na^+ nas espécies *P. amboinicus* e *P. grandis* foram similares nos dois ambientes, enquanto para *P. barbatus* o maior teor deste íon ($46,46 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) foi encontrado em pleno sol (Figura 2.13C e D).

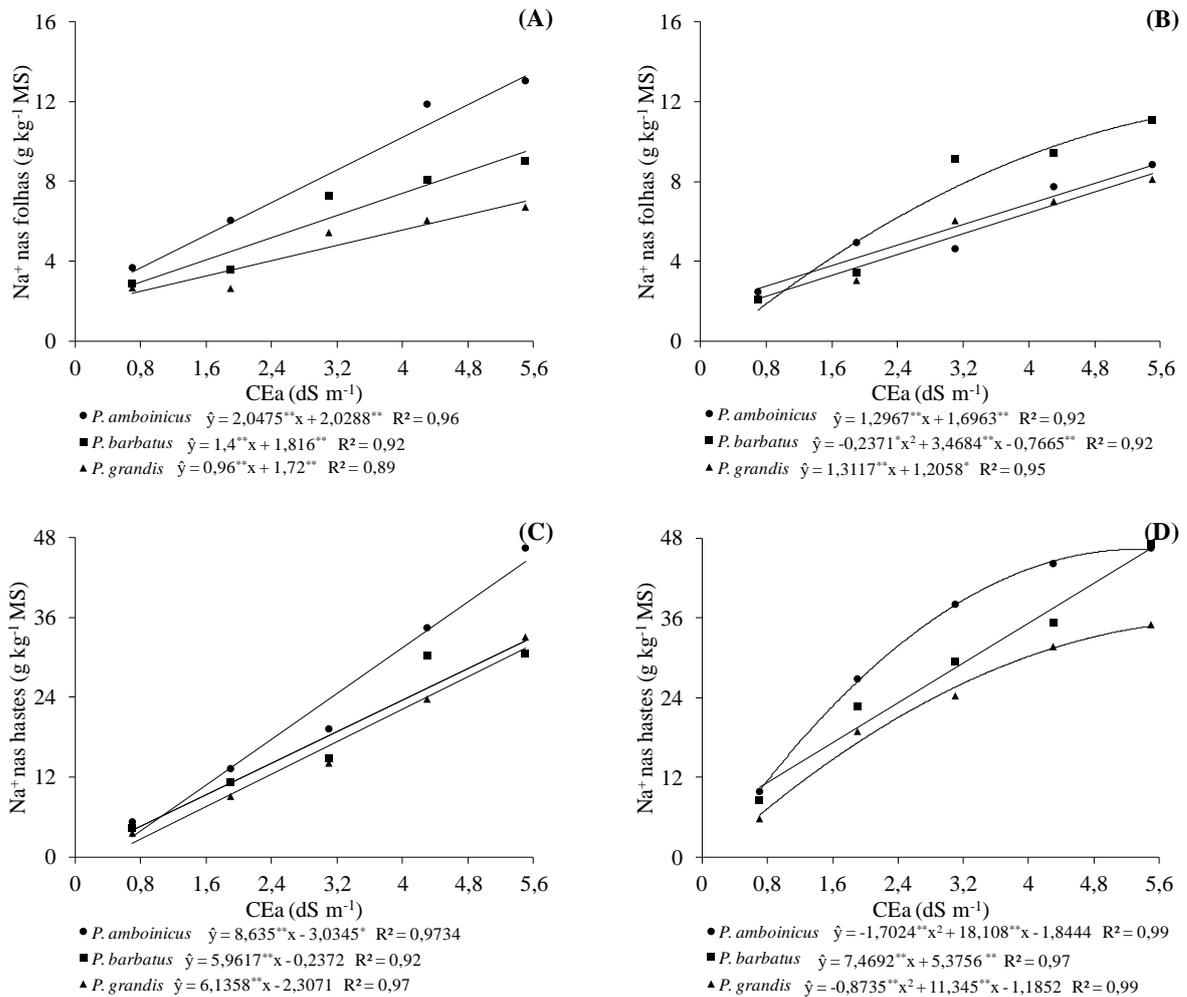


Figura 2.13 – Teor de Na⁺ em folhas (A e B) e em hastes (C e D) de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A e C) e pleno sol (B e D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

O teor de Cl⁻ nas folhas apresentou aumento linear em função da CEa, com acréscimo de 55,30% nas plantas submetidas a CEa de 5,5 dS m⁻¹ em relação as plantas tratadas com CEa de 0,7 dS m⁻¹ (Figura 2.14). Além disso, verifica-se que o teor de cloreto nas folhas foi superior ao de sódio (Figura 2.13A e B), indicando que nenhuma das espécies avaliadas parece possuir um mecanismo de exclusão desse íon.

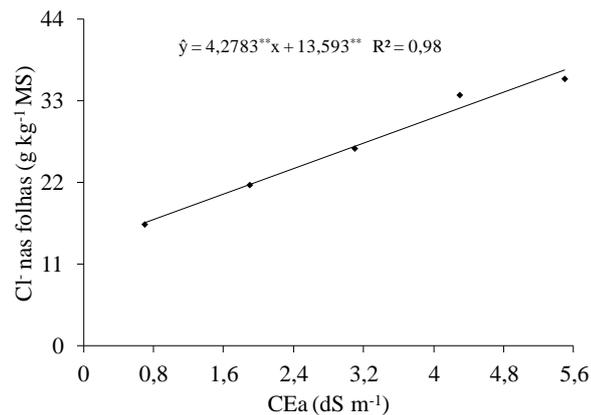


Figura 2.14 – Teor de Cl⁻ em folhas de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Na tabela 2.9 verifica-se que as plantas de *P. amboinicus*, tanto em telado quanto em pleno sol, apresentaram o maior teor de cloreto nas folhas, diferindo de *P. barbatus* e *P. grandis* que não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). O ambiente influenciou significativamente o teor de cloreto nas folhas das três espécies, com maiores médias obtidas quando as plantas foram cultivadas em telado (Tabela 2.9).

Tabela 2.9 – Teor de Cl⁻ em folhas de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* em diferentes luminosidades. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

	----- Cl ⁻ (g kg ⁻¹ MS) -----	
	Telado	Pleno sol
<i>P. barbatus</i>	27,15 aB	21,02 bB
<i>P. grandis</i>	26,12 aB	23,75 bB
<i>P. amboinicus</i>	32,93 aA	30,16 bA

Médias seguidas da mesma letra, minúsculas linhas e maiúsculas colunas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Maiores teores de cloreto nas hastes foram registradas nas plantas cultivadas em pleno sol e, a espécie *P. amboinicus* obteve maior teor deste íon tanto em telado como em pleno sol. Entretanto quando se considera o teor de cloreto obtida na CEa 0,7 e na de 5,5 dS m⁻¹ foi registrado maior incremento deste íon em *P. barbatus* cultivada em pleno sol, representando um percentual de acréscimo de 79,07%. Verifica-se, também, para esta espécie que a CEa 5,5 dS m⁻¹, no cultivo em pleno sol, promoveu um aumento de aproximadamente duas vezes mais em relação ao cultivo no telado (Figura 2.15).

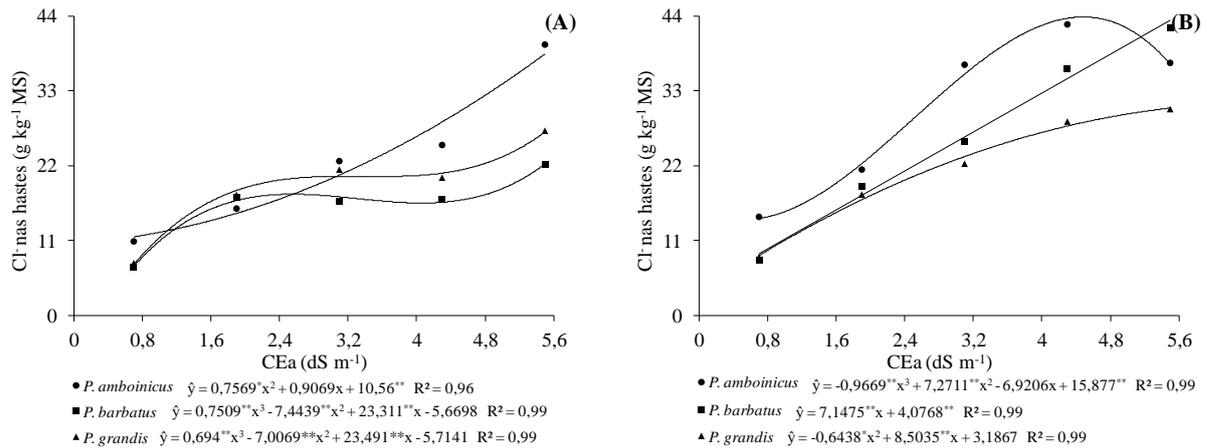


Figura 2.15 – Teor de Cl⁻ em hastes de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Os resultados do presente trabalho foram semelhantes aos relatados por Backhausen *et al.* (2005), que combinando as implicações de fatores ambientais adversos no crescimento de plantas de *Solanum tuberosum*, encontraram maior efeito deletério do NaCl quando as plantas foram expostas a elevada intensidade luminosa e baixa umidade do ar. Além destes autores, Attia *et al.* (2009) encontraram maior acúmulo de íons em acessos de *Arabidopsis* cultivados sob alta intensidade luminosa.

Ashraf e Orooj (2006) registraram um aumento nos teores de Na⁺ e Cl⁻ em plantas de *Trachyspermum ammi*, com maior concentração de Cl⁻ obtida na parte aérea das plantas e significativamente maior que a de Na⁺, os autores discorrem que esse padrão de acumulação de íons tóxicos tem sido relatado para diversas espécies de plantas, que realizam a compartimentalização dos sais nos vacúolos, promovendo o ajuste osmótico e controlando a relação K⁺/Na⁺ nas células. Resultados semelhantes também foram encontrados por Bernstein *et al.* (2010) em plantas de *Ocimum basilicum* e Sabra *et al.* (2012) em plantas medicinais do gênero *Echinacea*.

A elevação nos teores de Na⁺ e Cl⁻ em função do aumento da CEa, também, é consistente com os resultados apresentados por Silva *et al.* (2011), que encontraram em folhas de plantas de *Jatropha curcas*, após 14 dias de exposição a 100 mM de NaCl L⁻¹, teores elevados de Na⁺ e Cl⁻, atingindo cerca de 1721 e 1498 mmol kg⁻¹ MS, além disso, o teor de K⁺ na folha diminuiu consideravelmente, variando de 1071 (controle, 0 mM de NaCl) a 423 mmol kg⁻¹ MS (100 mM de NaCl L⁻¹). Para Tounekti *et al.* (2012), uma resposta comum da maioria das glicófitas a elevada concentração de NaCl no meio de crescimento, é o aumento substancial no teor de Na⁺ e redução no K⁺, levando a um acúmulo de Na⁺ a níveis tóxicos, ocasionando abscisão e senescência foliar.

Mediante aos níveis crescentes de CEa, verificou-se um aumento excessivo nos teores de sódio nas folhas (Figura 2.13A e B), e uma redução no teor de potássio, especialmente, quando se compara a menor CEa (0,7 dS m⁻¹) e a maior CEa (5,5 dS m⁻¹) (Figura 2.16A e B). A espécie *P. amboinicus*, que apresentou maior teor de Na⁺ nas folhas em telado (Figura 2.13A), também obteve maior teor de K⁺ neste órgão vegetal, quando comparada as demais espécies (Figura 2.16A). Verifica-se na figura 2.16A que o teor de potássio nas folhas da espécie *P. grandis* cultivada em telado, ajustou-se a uma equação linear, apresentando entre a CEa de 0,7 e 5,5 dS m⁻¹ uma redução na ordem de 50,27%. Neste mesmo ambiente a espécie *P. amboinicus* apresentou ajuste quadrático, com maiores teores de potássio observados para as CEa de 1,9, 3,1 e 4,3 dS m⁻¹, já para *P. barbatus* foi observado uma tendência de decréscimo no teor desse íon entre a CEa de 1,9 e 3,1 dS m⁻¹.

Na figura 2.16A e B observa-se que as espécies *P. barbatus* e *P. grandis* cultivadas em pleno sol tiveram um acréscimo no teor de K⁺ nas folhas até o nível de 4,3 dS m⁻¹, já para *P. amboinicus* registraram-se oscilações na concentração entre a CEa de 0,7 a 4,3 dS m⁻¹. Entretanto, na CEa de 5,5 dS m⁻¹ todas as espécies tiveram redução na concentração de K⁺, em relação as demais CEa.

Avaliando o K⁺ nas hastes, verifica-se nas espécies *P. barbatus* e *P. grandis*, tanto em ambiente telado quanto em pleno sol, uma redução no teor desse elemento (Figura 2.16C e D), enquanto *P. amboinicus*, cultivada em telado, obteve valor médio de 36,19 g de K⁺ kg⁻¹ MS (Figura 2.16C). Em pleno sol o teor de K⁺ nas hastes de *P. amboinicus* apresentou tendência de decréscimo a partir da CEa de 3,1 dS m⁻¹, com redução de 18,74% na CEa de 5,5 dS m⁻¹ em relação a de 0,7 dS m⁻¹ (Figura 2.16D).

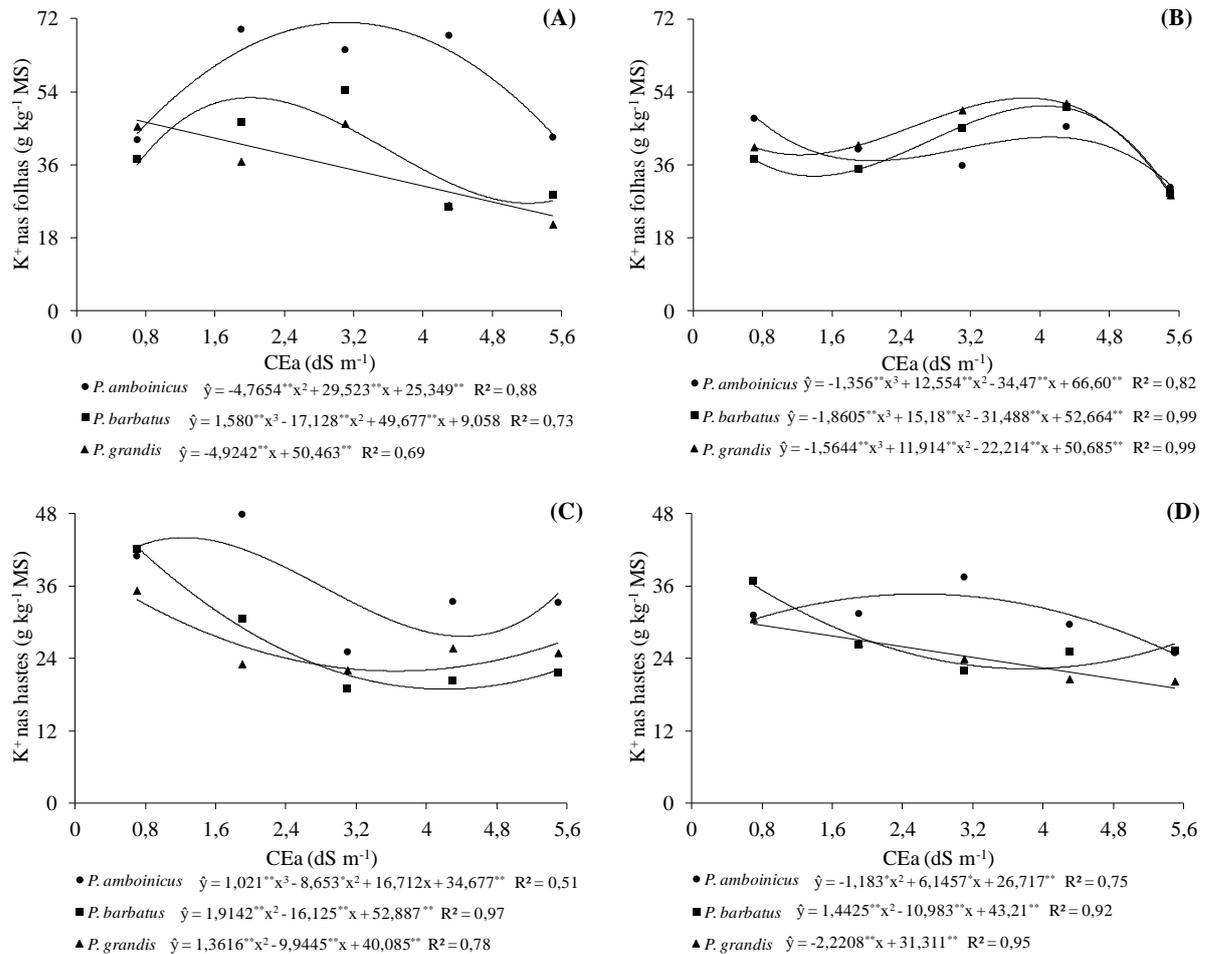


Figura 2.16 – Teor de K^+ em folhas (A e B) e em hastes (C e D) de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A e C) e pleno sol (B e D), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

A redução no teor de potássio em função do aumento da salinidade está de acordo com os resultados apresentados por Attia *et al.* (2009), nos quais a acumulação de K^+ nas folhas foi dependente da concentração de sal e do regime de luminosidade, sendo menor em plantas cultivadas sob alta intensidade luminosa em comparação com às cultivadas sob baixa luminosidade. Ashraf e Orooj (2006) observaram uma diminuição progressiva na concentração de K^+ e Ca^{++} na parte aérea e raízes de *Trachyperrum ammi*, como resultado da maior concentração de Na^+ e Cl^- no meio de crescimento das plantas; no entanto os teores desses íons foram consideravelmente maiores na parte aérea do que nas raízes em todos os níveis de NaCl. Por outro lado, Baghalian *et al.* (2008) não encontraram efeito significativo da água de irrigação salina sobre a acumulação de potássio nas hastes e raízes de plantas de *Matricaria recutita*. Efeito semelhante foi observado em espécies de *Echinacea* por Sabra *et*

al. (2012) onde a concentração de NaCl não mostrou nenhuma alteração no teor de K^+ , tanto na parte aérea quanto nas raízes.

A redução na absorção de K^+ mediante a presença elevada de Na^+ deve-se a competição por sítios no transporte de proteínas e, através de processos intracelulares, ainda, não bem compreendidos (TAIZ; ZEIGER, 2010). Como o Na^+ não substitui as funções específicas do K^+ , como a manutenção da atividade enzimática, a neutralização de ânions no citosol e cloroplastos, e a manutenção do pH em níveis adequados para o funcionamento da célula (PRADO *et al.*, 2008), é provável que as alterações no crescimento e capacidade fotossintética das plantas em função do aumento da salinidade, estejam relacionadas à reduzida absorção do K^+ e, concomitante redução da concentração no citoplasma e cloroplastos (TAVAKKOLI *et al.*, 2011).

Como resultado do maior teor de Na^+ e menor de K^+ , verificou-se um aumento na relação Na^+/K^+ nas folhas em função do aumento da CEa, para todas as espécies nos dois ambientes de cultivo (Figura 2.17A e B). Comparando apenas o nível de salinidade de 5,5 dS m^{-1} , verifica-se que a utilização de telado promoveu redução na relação Na^+/K^+ em 10,09%, em relação a pleno sol, para o cultivo de *P. barbatus*. Por outro lado, *P. amboinicus* e *P. grandis* apresentaram em telado um acréscimo na relação Na^+/K^+ de 21,71% e 16,55%, em relação a pleno sol (Figura 2.17A e B).

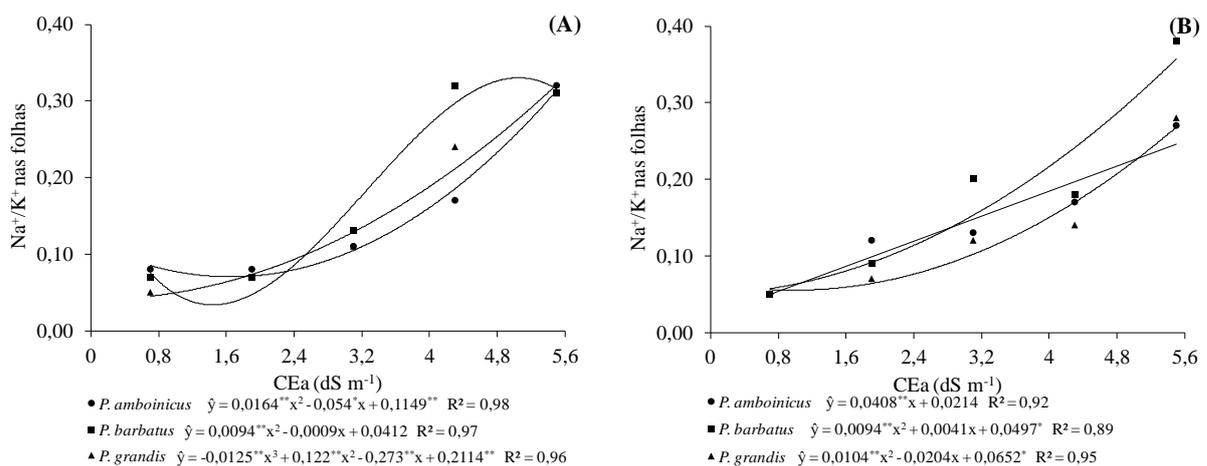


Figura 2.17 – Relação Na^+/K^+ em folhas de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

A relação Na^+/K^+ nas hastes foi influenciada pelo ambiente de cultivo e pela salinidade (Tabela 2.5). Considerando-se a média de todas as espécies e níveis de salinidade, a maior média da relação Na^+/K^+ (1,12) foi encontrada no ambiente em pleno sol, enquanto em

telado essa média foi de apenas 0,76. Na figura 2.18 verifica-se que com o acréscimo da CEa de 0,7 para 5,5 dS m⁻¹ ocorreu um aumento linear na ordem de 88,75% para a relação Na⁺/K⁺.

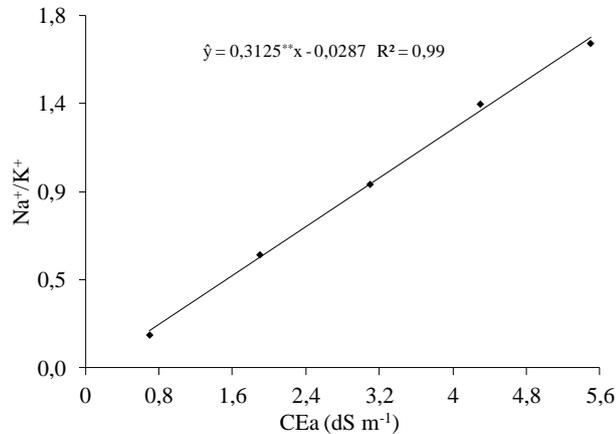


Figura 2.18 – Relação Na⁺/K⁺ em hastes a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Segundo Maathus e Amtmann (1999), valores da relação Na⁺/K⁺ iguais ou superior a 1 indicam um desequilíbrio nutricional e na homeostase iônica, favorecendo a ocorrência de danos metabólicos. No presente trabalho observou-se que, apesar da redução no teor de K⁺, em função do aumento da CEa, o teor desse íon ainda foi maior que o de Na⁺ nas folhas. Isso foi evidenciado pelos valores da relação Na⁺/K⁺ inferiores a 1. Resultados semelhantes foram observados por Alvarez Pizarro (2006) e Zhu *et al.* (2008). Cruz *et al.* (2006) discorrem que baixas relações Na⁺/K⁺, especialmente nas folhas, sítios do metabolismo primário, têm sido consideradas uma característica adaptativa das plantas ao crescimento em ambientes salinos.

Por outro lado, quando se avaliou esta relação nas hastes, verificou-se valores mais elevados, alcançando 1,6 na CEa de 5,5 dS m⁻¹. Com base nos valores da relação Na⁺/K⁺ superior a 1, Silva *et al.* (2008) sugeriram que a redução do crescimento em mudas de *Spondias tuberosa* poderia ser, pelo menos em parte, relacionado com perturbações metabólicas induzidas pela salinidade. Sabra *et al.* (2012), atribui, entre outras variáveis, a baixa tolerância a salinidade da espécie *Echinacea purpurea* aos valores da relação Na⁺/K⁺ na parte aérea em torno de 1,5. A indicação de tolerância a salinidade com base na relação Na⁺/K⁺, também, é relatada por Hasegawa *et al.* (2000) e Ashraf e Harris (2004), uma vez que indica o grau de seletividade na absorção e compartimentalização desses íons nos tecidos da planta.

2.3.4 Solutos orgânicos

Com exceção da salinidade para carboidratos, verificou-se efeito significativo dos fatores isolados sobre os teores de solutos orgânicos (Tabela 2.10). Em relação às interações, apenas o conteúdo de carboidratos não foi influenciado pela interação ambiente *vs* salinidade *vs* espécies, já a interação ambiente *vs* espécies não foi significativa para nenhum dos solutos orgânicos avaliados (Tabela 2.10).

Tabela 2.10 - Resumo da análise de variância para os teores de prolina, carboidratos e N-aminossolúveis em folhas em três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade e pleno sol, e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios		
		Prolina	N-aminossolúveis	Carboidratos
AMB	1	2,36**	95,11**	37140,61**
Resíduo (a)	6	0,04	3,9	295,87
SAL	4	1,12**	722,34**	1148,99 ^{NS}
AMB x SAL	4	0,57**	20,50*	2368,00*
Resíduo (b)	24	0,08	5,49	663,66
ESP	2	1,35**	419,94**	52390,65**
AMB x ESP	2	0,12 ^{NS}	2,73 ^{NS}	459,65 ^{NS}
SAL x ESP	8	0,31**	57,24**	1995,21**
AMB x SAL x ESP	8	0,17**	24,16**	632,73 ^{NS}
Resíduo (c)	60	0,04	6,50	496,46
CV _(a) (%)	-	28,47	7,08	5,74
CV _(b) (%)	-	38,92	8,4	8,6
CV _(c) (%)	-	26,95	9,14	7,44

GL – graus de liberdade; AMB – ambiente; SAL – salinidade; ESP – espécies; CV – coeficiente de variação; **, *, ^{NS} – significativo pelo teste F a 1%, 5% e não significativo, respectivamente.

Na figura 2.19 observam-se variações no teor de prolina em função dos níveis de salinidade e espécies nos diferentes ambientes. O maior acúmulo deste soluto foi encontrado nas plantas cultivadas em pleno sol, sugerindo que os efeitos negativos da salinidade foram agravados com a alta intensidade luminosa, proporcionando um maior acúmulo de prolina, principalmente no maior nível de salinidade testado (CEa de 5,5 dS m⁻¹). O maior teor de prolina nas plantas cultivadas em pleno sol corrobora com o menor crescimento (capítulo 1), com os menores valores de gs, E, A (Figuras 2.3, 2.4 e 2.5) e com a maior concentração de íons (Figuras 2.13, 2.14, e 2.15) obtida nesse ambiente.

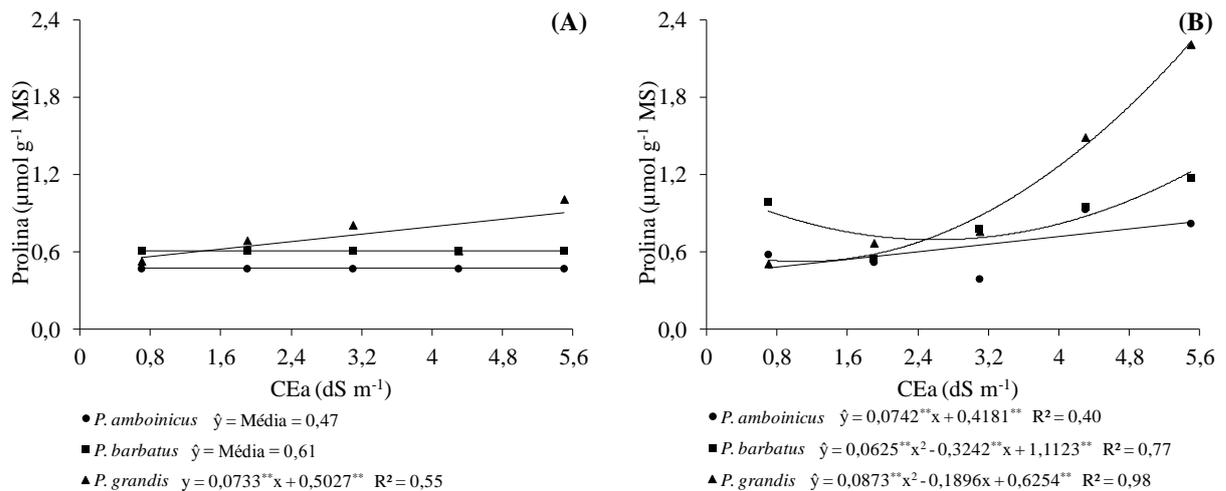


Figura 2.19 – Teores de prolina em folhas de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Comparando-se o controle (0,7 dS m⁻¹) e o maior nível de salinidade (5,5 dS m⁻¹) o teor de prolina livre aumentou significativamente para as três espécies, quando cultivadas em pleno sol, sendo que as plantas de *P. grandis* apresentaram maior acúmulo deste soluto, atingindo 2,22 µmol g⁻¹ de MS na CEa de 5,5 dS m⁻¹ (Figura 2.19A). Resposta semelhante para *P. grandis* foi obtida em telado, com aumento nos teores de prolina em função dos níveis crescentes de CEa; já para *P. amboinicus* e *P. barbatus*, também cultivadas em telado, a concentração de prolina manteve-se constante com média de 0,47 e de 0,61 µmol g⁻¹ de MS obtidas entre a CEa de 0,7 e 5,5 dS m⁻¹, respectivamente (Figura 2.19B).

Mesmo não sendo evidente que o acúmulo de prolina seja um mecanismo adaptativo útil, ou simplesmente uma resposta induzida por uma lesão fisiológica (LACERDA *et al.*, 2003; SILVEIRA *et al.* 2003), o aumento no conteúdo de prolina tem sido relatado em muitas espécies vegetais expostas a déficit hídrico e estresse salino, e está relacionado a capacidade de sobrevivência das plantas nestas condições (AHAMAD; JHON, 2005; ASHRAF; FOOLAD, 2007; MUNNS; TESTER, 2008). Jaleel *et al.* (2007) avaliaram a função da prolina na proteção de enzimas e na estabilização de estruturas de macromoléculas e organelas, inferindo ser a prolina um componente de osmorregulação em *Phyllanthus amarus* crescidas sob estresse salino.

Ashraf e Orooj (2006) encontraram aumento na concentração deste soluto na parte aérea de plantas de *Trachyspermum ammi*, especialmente no nível mais elevado de NaCl, 120 mmol L⁻¹, mostrando assim o papel positivo de prolina na tolerância ao sal desta cultura. Yildiztugay *et al.* (2011) sugeriram que o aumento do teor de prolina em *Centaurea tuzgoluensis* pode ter ajudado a planta a suportar o efeito osmótico da salinidade, além disso o

maior acúmulo de prolina indicou eficácia na proteção de proteínas durante o período de estresse. Quantidades elevadas de prolina mediante a presença de sais no meio de crescimento das plantas, também foi relatada por Bai *et al.* (2008) em plantas de *Iris lactea*.

Altas concentrações de solutos compatíveis, como prolina livre e aminoácidos livres totais, principalmente no citosol, equilibram a elevada concentração de sal no exterior da célula, e por outro lado, compensam as altas concentrações dos íons sódio e cloreto no vacúolo, proporcionando um ajustamento osmótico capaz de amenizar os danos causados pela salinidade (PARIDA; DAS 2005; TURKAN; DEMIRAL, 2009). O aumento na concentração de aminoácidos pode contribuir, ainda, para o controle do pH citosólico, assim como funcionar como um dreno para o acúmulo excessivo de nitrogênio, durante o estresse (GILBERT *et al.*, 1998).

Na figura 2.20 verifica-se que *P. barbatus* apresentou maior teor de N-aminossolúvel, tanto quando cultivada em telado quanto em pleno sol, entretanto verificou-se que entre os níveis extremos de salinidade, 0,7 e 5,5 dS m⁻¹, esta espécie apresentou um menor incremento no teor de N-aminossolúvel, com percentual médio, de 20,76% em telado e de 19,33% pleno sol. Para estas mesmas condições, as outras duas espécies obtiveram incremento no acúmulo de N-aminossolúvel de 51,73% em telado e 51,93% em pleno sol, para *P. amboinicus*; e, de 45,58% em telado e de 54,33% em pleno sol para *P. grandis* (Figura 2.20), indicando, possivelmente, maior contribuição desse soluto no ajustamento osmótico dessas espécies.

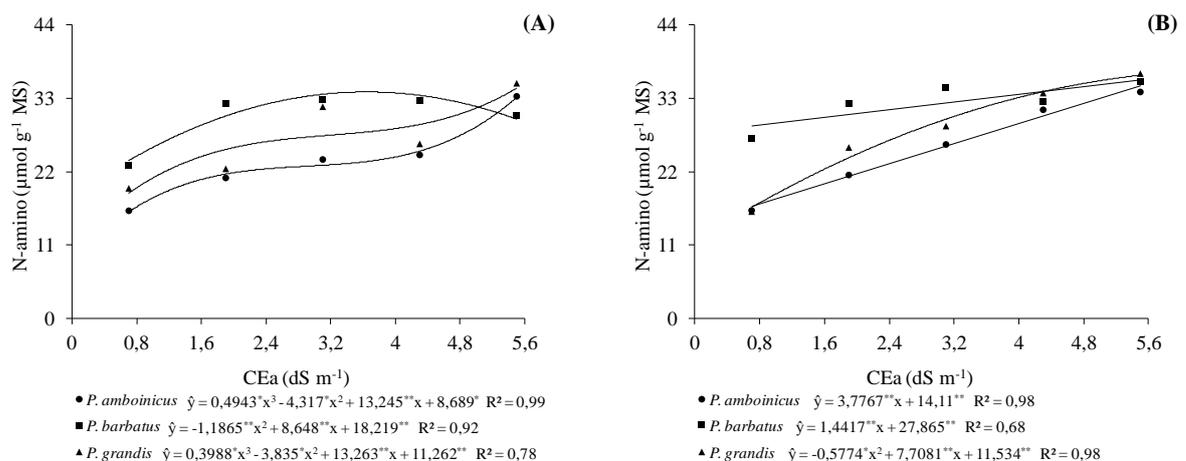


Figura 2.20 – Teores de N-aminossolúveis em folhas de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

Em relação ao teor de carboidratos, verifica-se na figura 2.21A que o cultivo das plantas em pleno sol proporcionou um incremento de 7,71% no teor de carboidratos entre a CEa de 0,7 e 5,5 dS m^{-1} , enquanto em telado esta variável manteve-se constante com valor médio de 281,8 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de MS de carboidratos. Na figura 2.21B verifica-se a resposta das espécies ao teor de carboidratos em função da CEa, na qual observa-se que *P. barbatus* e *P. grandis* não foram influenciadas pela elevação da CEa, enquanto *P. amboinicus* não se ajustou a nenhum modelo matemático testado. Dessa forma, não se verificou para o teor deste soluto um padrão de acúmulo ou decréscimo em resposta ao aumento da salinidade. Estes resultados divergem dos apresentados por Klelil *et al.* (2007), Silva *et al.* (2008) e Gomes *et al.* (2011) que registraram aumento no teor de carboidratos em função de níveis crescentes de salinidade no meio de cultivo, sugerindo uma participação desse soluto no ajustamento osmótico das plantas expostas ao estresse salino.

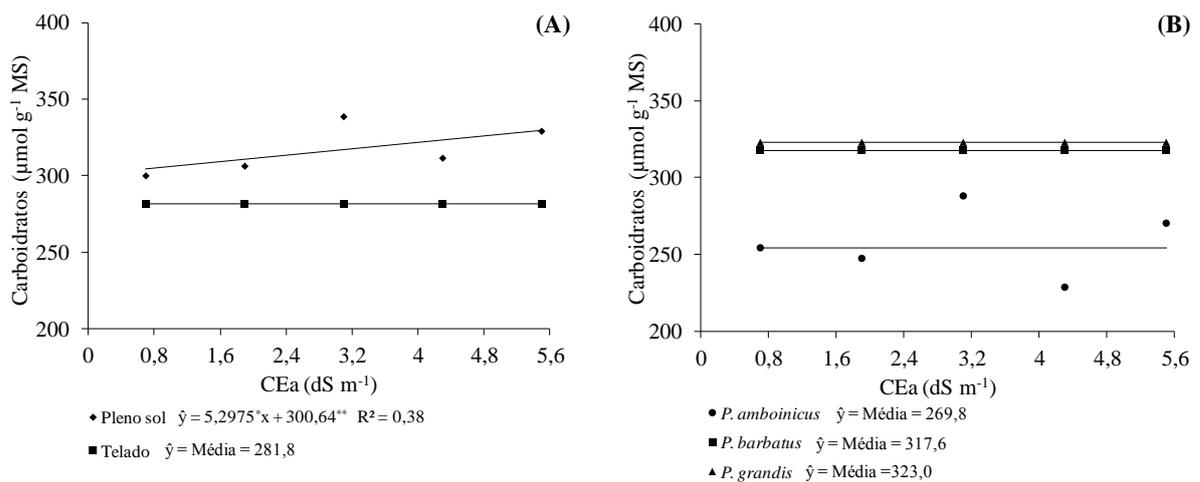


Figura 2.21 – Teores de carboidratos solúveis em folhas de três espécies medicinais do gênero *Plectranthus* cultivadas em telado com 50% de luminosidade (A) e pleno sol (B), e submetidas a níveis crescentes de condutividade elétrica na água de irrigação. UFC, Fortaleza-CE, 2012.

2.4 CONCLUSÕES

1. A salinidade induziu reduções nas variáveis de g_s , E, e A, com maior efeito nas plantas expostas a pleno sol, de modo que as plantas cultivadas em telado apresentaram melhor desempenho fisiológico, tanto na avaliação realizada aos 30 como aos 50 DAT.
2. Na avaliação realizada aos 50 DAT as três espécies apresentaram diminuição do IRC à medida que se aumentou a CEa.
3. Verificou-se aumento expressivo na acumulação de Na^+ e Cl^- , e reduções no teor de potássio, tanto nas hastes quanto nas folhas. Em decorrência do maior acúmulo de sódio nas hastes, a relação dos íons Na^+/K^+ nesta parte da planta atingiu valor de 1,6 na CEa de 5,5 dS m^{-1} , indicando um possível desequilíbrio nutricional e toxicidade de íons.
4. Para os solutos orgânicos, o teor de carboidratos não foi alterado com o aumento da CEa, porém os teores de prolina e N-aminossolúveis aumentaram em resposta ao estresse, sendo que no caso da prolina os aumentos foram maiores na espécie *P. grandis* cultivada em pleno sol.
5. O maior acúmulo de prolina foi registrado nas plantas de *P. grandis*, espécie que apresentou os menores teores de Na^+ nas folhas.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-MOGIB, M.; ALBAR, H. A.; BATTERJEE, S. M. Review: Chemistry of the Genus *Plectranthus*. **Molecules**, King Abdulaziz University, Saudi Arábia, v.7, p.271-301, 2002.
- AHMAD, P.; JHON, R. Effect of salt stress on growth and biochemical parameters of *Pisum sativum* L. Arch. **Agronomy Soil Science**, v.51, p.665-672, 2005.
- ALVAREZ PIZARRO, J. C. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos da tolerância à salinidade em clones de cajueiro anão-precoce**. 2006. 135 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.
- ASHRAF, M. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. **Flora**, v.199, p.361-376, 2004.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of Glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, p.206-216, 2007.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v.166, p.3-16, 2004.
- ASHRAF, M.; OROOJ, A. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* [L.] Sprague). **Journal of Arid Environments**, v.64, p.209-220, 2006.
- ATTIA, H.; KARRAY, N.; LACHAA, M. Light interacts with salt stress in regulating superoxide dismutase gene expression in Arabidopsis. **Plant Science**, v.177, p.161-167, 2009.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Trad. H. R. Gheyi et al., Campina grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte I análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.159-164, 2000.
- BACKHAUSEN, J. E.; KLEIN, M.; KLOCKE, M.; JUNG, S.; SCHEIBE, R. Salt tolerance of potato (*Solanum tuberosum* L. var. *Desire'e*) plants depends on light intensity and air humidity. **Plant Science**, v.169, p.229-237, 2005.
- BAGHALIAN, K.; HAGHIRY, A.; NAGHAVI, M. R.; MOHAMMADI, A. Effect of saline irrigation water on agronomical and phytochemical characters of chamomile (*Matricaria recutita* L.). **Scientia Horticulturae**, v.116, p.437-441, 2008.
- BAI, W.; LI, P.; FUJIYAMA, H.; FAN, F. Some Physiological Responses of *Chinese Iris* to Salt Stress. **Pedosphere**, v.18, p.454-463, 2008.
- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.39, p.205-207, 1973.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2ed Jaboticabal: FUNEP, 41p. 2003.

BERNSTEIN, N.; KRAVCHIK, M.; DUDAI, N. Salinity-induced changes in essential oil, pigments and salts accumulation in sweet basil (*Ocimum basilicum*) in relation to alterations of morphological development. **Annals of Applied Biology**, v.156, p.167–177, 2009.

CASTRO, E. M.; PINTO, J. E. B. P.; MELO, H. C.; SOARES, A. M.; ALVARENGA, A. A.; LIMA JÚNIOR, E. C. Aspectos anatômicos e fisiológicos de plantas de guaco submetidas a diferentes fotoperíodos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, p.846-850, 2005.

CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. E.; YOUNGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, p.71-80, 1975.

CHAVES-FILHO, J. T.; STACCIARINI-SERAPHIN, E. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.24, p.199-204, 2001.

COSTA, M. C. C. D. Uso popular e ações farmacológicas de *Plectranthus barbatus* Andr. (*Lamiaceae*): revisão dos trabalhos publicados de 1970 a 2003. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.8, p.81-88, 2006.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, A. Q.; CORREA, R.; ALMEIDA, A. Q.; QUEIROZ, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, Campinas, v.65, p.275-284, 2006.

DEBEZ, A.; KOYRO, H. W.; GRIGNON, C.; ABDELLY, C.; HUCHZERMAYER. Relationship between the photosynthetic activity and the performance of *Cakile maritime* after long-term salt treatment. **Physiologia Plantarum**, v.133, p.373–385, 2008.

DENG, Y.; LI, C.; SHAO, Q.; YE, X.; SHE, J. Differential responses of double petal and multi petal jasmine to shading: I. Photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.55, p. 93-102, 2012.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v.28, p.350-356, 1956.

FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2000.

FLEXAS, J. Y.; MEDRANO, H. Photosynthetic responses of C3 plants to drought. En: **Advances in Plant Physiology**, vol. IV (ed. HEMANTARANJAN, E). Ed. Scientific Press, Jodhpur, India, p.1-56, 2002.

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

GAINES, T. P.; PARKER, M. B.; GASCHO, G. J. Automated determination of chlorides in soil and plant tissue by sodium nitrate. **Agronomy Journal**, v.76, p.371-374, 1984.

GARDWOOD, N. C. Functional morphological of tropical tree seedlings. In: *The Ecology of Tropical Forest tree Seedlings* (M.D. Swaine, ed.), **UNESCO and Parthenon Publishing group**, p.59-129, 1996

GILBERT, G. A.; GADUSH, M. V.; WILSON, C.; MADORE, M. A. Amino acid accumulation in sink and source tissues of *Coleus blumei* Benth. during salinity stress. **Journal of Experimental Botany**, v.49, p.107–114, 1998.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; ANDRADE FILHO, F. L.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.365-370, 2011.

GRACIANO, E. S. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; LIMA, D. R. M.; PACHECO, C. M.; SANTOS, R. C. Crescimento e capacidade fotossintética da cultivar de amendoim BR1 sob condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v.15, p.794–800, 2011.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.51, p.463-499, 2000.

HURA, T.; HURA, K.; GRZESIAK, M.; RZEPKA, A. Effect of long term drought stress on leaf gas exchange and fluorescence parameters in C3 and C4 plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.29, p.103 – 113, 2007.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; KISHOREKUMAR, A.; SANKAR, B. GOPI, R.; SOMASUNDARAM, R.; PANEERSELVAM, R. Alterations in osmoregulations, antioxidant enzymes and indole alkaloid levels in *Catharanthus roseus* exposed to water deficit. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v.59, p.150-157, 2007.

JAMIL, M.; REHMAN, S.; LEE, K. J.; KIM, J. M.; KIM, H.; RHA, E. S. Salinity reduced growth PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. **Scientia Agricola**. v. 64, p.111-118, 2007.

KEBLAWY, A. E.; ANSARI, F. A.; SHAMSI, N. A. Effects of temperature and light on salinity tolerance during germination in two desert glycophytic grasses, *Lasiurus scindicus* and *Panicum turgidum*. **Grass and Forage Science**, v.66, p.173–182, 2010.

KHELIL, A.; MENU, T.; RICARD, B. Adaptive response to salt involving carbohydrate metabolism in leaves of a salt-sensitive tomato cultivar. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.45, p.551-559, 2007.

KOYRO, H. W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). **Environmental and Experimental Botany**, v.56, p.136–146, 2006.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.49, p.107-120, 2003.

LACERDA, C. F.; ASSIS JÚNIOR, J. O. LEMES FILHO, L. C. A. OLIVEIRA, T. S.; GUIMARÃES, F. V. A.; GOMES-FILHO, E. PRISCO, J. T.; BEZERRA, M. A. Morpho-physiological responses of cowpea leaves to salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, p.455-465, 2006.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Rima Artes e Textos, São Carlos, 2000.

LIMA, M. G. S.; LOPES, N. F.; BACARIN, M. A.; MENDES, C. R. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. **Bragantia**, v.63, p.335-340, 2004.

LIMA JUNIOR, E. C.; ALVARENGA, 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, p.1092-1097, 2005.

LUKHOB, C. W.; SIMMONDS, M. S. J.; PATON, A. J. Plectranthus: A review of ethnobotanical uses. **Journal of Ethnopharmacology**, v.103, p.1-24, 2006.

MAATHUIS, F. J. M.; AMTMANN, A. K^+ Nutrition and Na^+ toxicity: the basis of cellular K^+/Na^+ ratios. **Annals of Botany**, v.84, p.123–133, 1999.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e Aplicações. **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato**. Piracicaba, SP, 1989. 201p.

MANTOVANI, A. A method to improve leaf succulence quantification. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.42, p.9-14, 1999.

MIGLIATO, K. F.; MOREIRA, R. R. D.; MELLO, J. C. P.; SACRAMENTO, L. V.S.; CORRÊA, M. A.; SALGADO, H. R. N. Controle da qualidade do fruto de *Syzygium cumini* (L.) Skeels. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.17, p.94-101, 2007.

MUNNS, R. Physiological processes limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. **Plant Cell Environment**, Oxford, v.16, p.15-24, 1993.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cell and Environment**, Logan. v.25, p.239-250, 2002.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Reviews Plant Biology**. v.59, p.651-681, 2008.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, p.324-349, 2005.

PINTO J. E. B. P.; CARDOSO J. C. W.; CASTRO E. M.; BERTOLUCCI S. K.; MELO L. A.; DOUSSEAU S. Aspectos morfofisiológicos e conteúdo de óleo essencial de plantas de alfazema-do-Brasil em função de níveis de sombreamento. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.210-214, 2007.

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 2001. 906 p.

REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of Plant Physiology**, v.161, p.1189-1202, 2004.

RHOADES, J. P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use saline waters for crop production**. Trad.: GHEYI, H. R.; SOUSA, J. R.; QUEIROZ, J. E. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p.

SABRA, A.; DAAYF, F.; RENAULT, S. Differential physiological and biochemical responses of three Echinacea species to salinity stress. **Scientia Horticulturae**, v.135, p.23-31, 2012.

SANTOS, C.V. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. **Scientia Horticulturae**, v.103, p.93-99, 2004.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, F. P.; MELO, N. F.; AZEVEDO NETO, A. D. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.63, p.147-157, 2008.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, R. V.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G.. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agrícola**, v.68, p.62-68, 2011.

SILVEIRA, J. A. G.; VIÉGAS, R. A.; ROCHA, I. M. A.; MOREIRA, A. C. O. M.; MOREIRA, R. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Proline accumulation and glutamine synthetase activity are increased by salt-induced proteolysis in cashew leaves. **Journal of Plant Physiology**, v.160, p.115-123, 2003.

SILVEIRA, J. A. G.; MENESES-JUNIOR, J.; SILVA, E. N.; FERREIRA-SILVA, S. L.; ARAGÃO, R. M.; VIÉGAS, R. A. Salt resistance in two cashew species is associated with accumulation of organic and inorganic solutes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.34, p.1629-1637, 2012.

SOUSA, A. E. C.; BEZERRA, F. M. L.; SOUSA, C. H. C.; SANTOS, F. S. S. Produtividade do meloeiro sob lâmina de irrigação e adubação potássica. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.271-278, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre, ARTMED. 4º ed., 2010, 719p.

TAVAKKOLI, E.; FATEHI, F.; COVENTRY, S.; RENGASAMY, P.; McDonald, G. K. Additive effects of Na⁺ and Cl⁻ ions on barley growth under salinity stress. **Journal of Experimental Botany**, v.62, p.2189–2203, 2011.

TOUNEKTI, T.; ABREU, M. E.; KHEMIRA, H.; MUNNÉ-BOSCH, S. Canopy position determines the photoprotective demand and antioxidant protection of leaves in salt-stressed *Salvia officinalis* L. plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.78, p.146–156, 2012.

TRINDADE, A. R.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.804-810, 2006.

TURKAN, I.; DEMIRAL, T. Recent developments in understanding salinity tolerance, **Environmental and Experimental Botany**, v.67, p.2-9, 2009.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino acids with ninhydrin. **Analyst**, v.80, p.209-213, 1955.

YILDIZTUGAY, E.; SEKMEN, A. H.; TURKAN ; M. Kucukoduk, M. Elucidation of physiological and biochemical mechanisms of an endemic halophyte *Centaurea tuzgolensis* under salt stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.49, p.816-824, 2011.

ZHANG, S.; HU, H.; XU, K.; LI, Z.; YANG, Y. Flexible and reversible responses to different irradiance levels during photosynthetic acclimation of *Cypripedium guttatum*. **Journal of Plant Physiology**, v.164, p.611-620, 2007.

ZHU, J. K. Plant salt tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, p.56-71, 2001.

ZHU, J.; BIE, Z.; HUANG, Y.; HAN, X. Effect of grafting on the growth and ion concentrations of cucumber seedlings under NaCl stress. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 54, p.895–902, 2008.