

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE DOUTORADO**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DO NONI  
(*Morinda citrifolia* L.) AO ESTRESSE SALINO**

**Alide Mitsue Watanabe Cova**

**CRUZ DAS ALMAS / BAHIA  
2016**

# RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DO NONI (*Morinda citrifolia* L.) AO ESTRESSE SALINO

**Alide Mitsue Watanabe Cova**

Engenheira Agrônoma

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2010

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos).

**Orientador:** Prof. Dr. André Dias de Azevedo Neto

**Coorientador:** Prof. Dr. Hans Raj Gheyi

**Coorientador:** Prof. Dr. Rogério Ferreira Ribas

**CRUZ DAS ALMAS / BAHIA**

**2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE DOUTORADO**

**RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DO NONI (*Morinda  
citrifolia* L.) AO ESTRESSE SALINO.**

**Comissão Examinadora da Defesa de Tese de  
Alide Mitsue Watanabe Cova**

Aprovada em: 25 de Agosto de 2016

Orientador – Prof. Dr. André Dias de Azevedo Neto  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB  
Examinador Interno (Orientador)

Prof. Dr. Maurício Antônio Coelho Filho  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB  
Membro interno

Profa. Dra. Karoline Santos Gonçalves  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB  
Membro externo

Profa. Dra. Elizamar Ciríaco da Silva  
Universidade Federal de Sergipe / UFS  
Membro externo

Prof. Dr. Daniel da Silva de Jesus  
Secretária de Educação do Estado da Bahia  
Membro externo

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais **José Cruz Cova** e **Maria Watanabe Cova**, aos meus irmãos e amigos, **Aline Kasué**, **Alice Sayuri**, **Aliane Watanabe** e **Alife Koite** e aos meus sobrinhos serem o meu alicerce.

## OFEREÇO

Com todo amor e carinho a minha  
filha **Beatriz Miyuki Watanabe**  
**Sacramento**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por iluminar os meus passos e estar presente em todos os momentos da minha vida.

A meus pais José Cruz Cova e Maria Watanabe Cova pela vida concedida, conversas, amor e incentivo.

A minha filha Beatriz Miyuki pelo carinho, amor e compreensão, minha razão de viver e ao meu esposo José Augusto.

A minhas irmãs Aline, Alice e Aliane e irmão Alife Koite pelo carinho, amor e ajuda concedida nesta longa caminhada.

Ao professor e orientador Dr. André Dias de Azevedo Neto pela compreensão, ensinamento, atenção, paciência, pelos conhecimentos repassados e oportunidades dadas. Muito Obrigada!

Aos meus co-orientadores Hans Raj Gheyi e Rogério Ferreira Ribas pelo conhecimento repassado e contribuição para o desenvolvimento da pesquisa.

A minha sogra (Neuza), sogro (José Rocha), minhas cunhadas (Chirlane, Cristiane, Djane e Tatiane) e cunhado Marcelo pelo apoio e carinho.

Aos meus tios Maria Aquino Sacramento e Moysés pelo apoio, incentivo e referência de vida profissional.

A todos os meus amigos do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRB em especial a Adailton, Leandra Oliveira, Maria Augusta, Paula Viana, Renata Velasques e Tatyana Keyty.

Aos professores Tales Miler Soares, Eugênio Ferreira Coelho, José Fernandes Melo Filho, Lucas Melo Vellame, Maurício Antônio Coelho, Vital Pedro da Silva Paz, Áureo Silva de Oliveira, Alisson Jadavi, Jorge Luiz Rabelo e Thais Emanuelle pelo conhecimento repassado.

Aos meus amigos de graduação por tudo o que fizeram nos momentos mais difíceis da minha vida.

Aos funcionários Boi e Mairi pelo auxílio no desenvolvimento da tese.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de Doutorado.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso.

A todos que em algum momento me deram uma palavra de incentivo.

## RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DO NONI (*Morinda citrifolia* L.) AO ESTRESSE SALINO.

**RESUMO:** O trabalho avaliou os efeitos do estresse salino sobre aspectos fisiológicos e bioquímicos de plantas de noni, com vistas a uma melhor compreensão dos mecanismos de tolerância à salinidade nesta espécie. Para tanto, foram instalados dois experimentos em delineamento inteiramente casualizado, com diferentes doses de salinidade na solução nutritiva. As plantas de noni foram cultivadas em casa de vegetação sob sistema hidropônico floating. O primeiro experimento foi conduzido com cinco níveis de salinidade (0, 25, 50, 75 ou 100 mM de NaCl) e quatro repetições. Após 40 dias, foram analisadas a altura das plantas, o número de folhas, o diâmetro do caule, as massas secas das folhas, caule e raízes, área foliar, suculência, índice de esclerofilia e os teores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas diferentes partes das plantas. O segundo experimento foi realizado na ausência e presença de 100 mM de NaCl e cinco períodos de coletas, com quatro repetições. As condições de crescimento foram idênticas às do primeiro experimento. As coletas foram realizadas após 1, 10, 20, 30 e 40 dias da aplicação do estresse. Foram analisadas as mesmas variáveis de crescimento do primeiro experimento, bem como as variáveis das trocas gasosas e as da eficiência fotoquímica ( $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_m$ ,  $Y_{II}$ ,  $Y_{NO}$  e  $Y_{NPQ}$ ). Além destas, também foram determinados o teor relativo de água, os danos membranares e os teores de clorofilas, carotenóides, carboidratos solúveis, aminoácidos livres, proteínas solúveis, prolina,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ , N e P. A salinidade reduziu o crescimento de todos os órgãos da planta. Em contraste, a suculência e o índice de esclerofilia aumentaram em 32% no nível mais salino em comparação às plantas controle. Os teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas, caule e raízes aumentaram e os de  $\text{K}^+$  diminuíram com o incremento da salinidade. Os maiores teores de  $\text{K}^+$  foram observados nas raízes, e os de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas. A salinidade também reduziu os teores de N e P nas folhas. Os teores de carboidratos solúveis e aminoácidos livres diminuíram no tratamento de estresse. A salinidade aumentou os teores de prolina mais nas raízes do que nas folhas. A salinidade não afetou a eficiência no uso da água, mas reduziu a assimilação líquida de  $\text{CO}_2$ , a condutância estomática, a transpiração, a eficiência de carboxilação e os teores de clorofila a, b, total e carotenóides. A salinidade não acarretou maiores alterações na emissão da fluorescência da clorofila a, entretanto as plantas estressadas apresentaram uma diminuição da capacidade de fotoproteção pelo ciclo das xantofilas. A salinidade não afetou o estado hídrico das folhas, mas foram observados danos na integridade das membranas com o tempo de exposição ao sal. Os dados deste trabalho indicam que a salinidade altera a homeostase iônica das plantas de noni, o que pode, ao menos em parte, explicar a redução do crescimento induzida pelo sal. Quantitativamente, a prolina não contribui substancialmente para o potencial osmótico do noni, entretanto o seu aumento sugere que, ou este soluto desempenha um papel na aclimação ao estresse salino ou é um indicador dos distúrbios metabólicos induzidos pela salinidade. O noni apresenta como mecanismo de tolerância à salinidade o fechamento estomático, diminuindo a perda de água pela transpiração e mantendo o status hídrico da planta.

**Palavras Chaves:** Trocas gasosas; Eficiência fotoquímica; Solutos orgânicos e inorgânicos

## PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL RESPONSES OF NONI (*MORINDA CITRIFOLIA* L.) TO SALT STRESS.

**ABSTRACT:** The study evaluated the effects of salt stress on physiological and biochemical aspects of noni plant, with a view to a better understanding of the mechanisms of salt tolerance in this species. Therefore, two experiments design was completely randomized with different salinity levels in the nutrient solution. The noni plants were grown in greenhouse under floating hydroponic system. The first experiment was carried out with five levels of NaCl (0, 25, 50, 75 or 100 mM NaCl) and four replications. After 40 days of stress, plant height, number of leaves, stem diameter, leaf, stem and root dry masses, leaf area, leaf succulence, sclerophylly index and the Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> contents in the different plant organs were evaluated. The second experiment was conducted in the absence and presence of 100 mM NaCl and five periods of collections, with four replications. The growth conditions were identical to those of the first experiment. Samples were collected at 1, 10, 20, 30 and 40 days of salt stress. The same growth variables of the first experiment, as well as the variables of gas exchange and the photochemical efficiency ( $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v/F_m$ ,  $Y_{II}$ ,  $Y_{NO}$  and  $Y_{NPQ}$ ) were determined. Besides those, we also determined the water relative content, the damage membrane and chlorophyll content, carotenoid, soluble carbohydrates, free amino acids, soluble proteins, proline, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, N and P. Salinity reduced growth of all plant organs. In contrast, juiciness and sclerophylly rate increased by 32% in the saline level compared to control plants. The contents of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> in the leaves, stems and roots increased and K<sup>+</sup> decreased with increasing salinity. The highest K<sup>+</sup> levels were observed in the roots, and the Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> in the leaves. Salinity also reduced N and P in the leaves. The levels of soluble carbohydrates and free amino acids decreased in the treatment of stress. The salinity increased proline levels more in roots than in leaves. Salinity did not affect the efficiency of water use, but reduced net CO<sub>2</sub> assimilation, stomatal conductance, transpiration, carboxylation efficiency and the contents of chlorophyll a, b, total and carotenoid. Salinity caused no major changes in the emission of chlorophyll a fluorescence, however the stressed plants showed a decrease in photoprotection capacity by the cycle of xanthophylls. Salinity did not affect the water status of the leaves, but damage to the integrity of the membranes were observed with the time of exposure to salt. Data from this study indicate that salinity changes the ionic homeostasis of noni plant, which can at least partly explain the reduction in growth induced by salt. Quantitatively, proline does not contribute substantially to osmotic potential of noni, however its increase suggests that either it plays a role in the acclimation of salt stress or it is an indicator of metabolic disorders induced by salinity. The noni presents as a mechanism of salt tolerance stomatal closure, reducing water loss by transpiration and maintaining the water status of the plant.

**Key words:** Gas exchange; Photochemical efficiency; Organic and inorganic solutes

## LISTA DE ABREVIATURAS

A - Taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$   
A/Ci - Eficiência de carboxilação  
PBC - Partição de biomassa do caule  
PBF - Partição de biomassa da folha  
PBR - Partição de biomassa da raiz  
AF - Área foliar  
Car - Carotenóides  
CEes- Condutividade elétrica na pasta de saturação do solo  
Cla - Clorofila a  
Cla/Clb - Relação clorofila a/clorofila b  
Clb - Clorofila b  
Cltotal - Clorofila total  
Cltotal/Car - Relação clorofila total carotenóides  
E - Transpiração  
EDTA - Ácido etilenodiamino tetra-acético  
EUA - Eficiência no uso da água  
 $F_0$  - Fluorescência inicial  
 $F_m$  - Fluorescência máxima  
 $F_v/F_m$  - Rendimento quântico potencial do FSII  
 $g_s$  - Condutância estomática  
 $\text{H}_2\text{O}_2$  - Peróxido de Hidrogênio  
 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  - Dihidrogenofosfato  
 $\text{H}_2\text{SO}_4$  - Ácido sulfúrico  
HCl - Ácido clorídrico  
IE - Índice de esclerofilia  
 $\text{K}^+/\text{Na}^+$  - Relação potássio/sódio  
MFF - Massa fresca da folha  
mM - Milimolar  
MSC - Massa seca do caule  
MSF - Massa seca da folha  
MSPA - Massa seca da parte aérea  
MSR - Massa seca da raiz  
PA/R - Relação da massa seca da parte aérea/massa seca de raiz  
MST- Massa seca total  
NaCl - Cloreto de sódio  
NaOH - Hidróxido de sódio  
 $\text{NH}_4^+$  - Amônio  
 $\text{NO}_3^-$  - Nitrato  
PA/R - Relação parte aérea raiz  
 $T_f$  - Temperatura da folha  
 $Y_{II}$  - Eficiência quântica efetiva do FSII  
 $Y_{NO}$  - Rendimento quântico de dissipação não regulado  
 $Y_{NPQ}$  - Rendimento quântico de dissipação regulado



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1** Mudanças fisiológicas e bioquímicas em plantas quando submetidas ao estresse salino (Adaptado de Azevedo Neto e Silva et al., 2015).....20
- Figura 2.1** Altura da planta (a), diâmetro do caule (b) e número de folhas (c) de plantas de noni aos 40 dias após tratamentos em sistema hidropônico em função de doses de NaCl na solução nutritiva.....44
- Figura 2.2** Massa seca da folha - MSF (a), caule - MFC (b), raiz - MSR (c) e total - MST (d), relação massa seca da parte aérea/raiz - PA/R (e), área foliar - AF (f), suculência foliar (g) e índice de esclerofilia – IE (h) em plantas de noni aos 40 dias após tratamentos em sistema hidropônico em função de doses de NaCl na solução nutritiva.....45
- Figura 2.3** Teores de  $\text{Na}^+$  (a, b, c) e  $\text{Cl}^-$  (d, e, f) nas folhas, caule e raízes de noni aos 40 dias após tratamentos em sistema hidropônico em função de doses de NaCl na solução nutritiva.....48
- Figura 2.4** Teor de  $\text{K}^+$  (a, b, c) e razão  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  (d, e, f) nas folhas caule e raízes de noni aos 40 dias após tratamentos em sistema hidropônico em função de doses de NaCl na solução nutritiva.....50
- Figura 3.1** Altura (A), diâmetro do caule (B) e número de folhas (C) de plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.....62
- Figura 3.2** Massas secas das folhas (A), caule (B), raízes (C) e partição de biomassa nas folhas (D), caule (E) e raízes (F) de plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.....63
- Figura 3.3** Teores de sódio (A, B, C), cloreto (D, E, F), potássio (G, H, I) e razão  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  (J, K, L) nos diferentes órgãos das plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.....65

- Figura 3.4** Teores de N (A, B, C) e P (D, E, F) nos diferentes órgãos das plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.....66
- Figura 3.5** Teores de carboidratos solúveis (A e B), aminoácidos livres (C e D), proteína solúveis (E e F) e prolina livre (G e H), nas folhas e raízes de plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.....67
- Figura 4.1** Massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.....87
- Figura 4.2** Fotossíntese (A), condutância estomática (B), transpiração (C), eficiência do uso da água (D), eficiência de carboxilação (E) e temperatura foliar (F) de plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.....88
- Figura 4.3** Rendimento quântico potencial do FSII em estado oxidado (A); fluorescência inicial (B), fluorescência máxima (C), eficiência quântica efetiva do FSII (D), rendimento quântico de dissipação não regulada (E), rendimento quântico de dissipação regulada (F) em plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em ausência (○) ou presença (●) de 100 mM de NaCl na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.....89
- Figura 4.4** Teores de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofila total (C), carotenóides (D) e razões clorofila a/clorofila b (E) e clorofilas/carotenóides (F) em plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em ausência (○) ou presença (●) de 100 mM de NaCl na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.....90
- Figura 4.5** Teor relativo de água (A) e percentagem de integridade absoluta (B) em plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em ausência (○) ou presença (●) de 100 mM de NaCl na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.....91

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| RESUMO:.....   | 6  |
| ABSTRACT:.....   | 7  |
| CAPÍTULO 1.....  | 13 |
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 13 |
| 1.2. REVISÃO DE LITERATURA.....  | 16 |
| 1.2.1. Características botânicas do noni.....                                  | 16 |
| 1.2.2. Exigências edafoclimáticas do noni.....                                 | 17 |
| 1.2.3. Importância fitoterapêuticas do noni.....                               | 18 |
| 1.2.4. Efeitos dos sais na planta.....   | 19 |
| 1.2.4.1. Efeito osmótico dos sais nas plantas.....                             | 20 |
| 1.2.4.2. Efeitos tóxicos do Na <sup>+</sup> e Cl <sup>-</sup> nas plantas..... | 22 |
| 1.2.5. Acúmulo de solutos nas plantas sob estresse salino.....                 | 23 |
| 1.2.6. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a.....                      | 25 |
| 1.2.7. O noni e a salinidade.....  | 26 |
| 1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 28 |
| CAPÍTULO 2.....  | 38 |
| RESUMO:.....   | 39 |
| ABSTRACT:.....   | 40 |
| 2.1. INTRODUÇÃO.....   | 40 |
| 2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 41 |
| 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 43 |
| 2.4. CONCLUSÕES.....   | 51 |
| 2.5. REFERÊNCIAS.....  | 51 |
| CAPÍTULO 3.....  | 55 |
| Resumo.....  | 56 |
| Abstract.....  | 57 |
| 3.1. INTRODUÇÃO.....   | 58 |
| 3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 59 |
| 3.2.1. Condições experimentais e tratamentos.....                              | 59 |
| 3.2.2. Crescimento.....  | 60 |
| 3.2.3. Análise de solutos inorgânicos.....                                     | 60 |
| 3.2.4. Análise de solutos orgânicos.....                                       | 60 |
| 3.2.5. Análise estatística.....  | 61 |
| 3.3. RESULTADOS.....   | 61 |
| 3.4. DISCUSSÃO.....  | 68 |
| 3.5. CONCLUSÕES.....   | 73 |
| 3.6. AGRADECIMENTOS.....   | 74 |
| 3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 74 |
| Resumo.....  | 81 |
| Abstract.....  | 82 |
| 4.1. INTRODUÇÃO.....   | 82 |
| 4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 84 |
| 4.2.1. Condições de crescimento e tratamento.....                              | 84 |
| 4.2.2. Trocas gasosas.....   | 85 |
| 4.2.3. Eficiência fotoquímica.....   | 85 |
| 4.2.4. Teores de clorofilas.....   | 85 |
| 4.2.5. Integridade das membranas celulares e teor relativo de água.....        | 86 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.2.6. Análise estatística .....   | 86  |
| 4.3. RESULTADOS .....  | 86  |
| 4.3.1. Efeito do NaCl na produção de massa seca da parte aérea .....                                     | 86  |
| 4.3.2. Efeito do NaCl nas trocas gasosas .....   | 87  |
| 4.3.3. Efeito do NaCl na fluorescência da clorofila a .....  | 88  |
| 4.3.4. Efeito do NaCl nos pigmentos fotossintéticos.....   | 90  |
| 4.3.5. Efeito do NaCl no teor relativo de água e percentagem de integridade absoluta das membranas ..... | 91  |
| 4.4. DISCUSSÃO.....  | 91  |
| 4.5. CONCLUSÕES .....  | 95  |
| 4.6. REFERÊNCIAS.....  | 95  |
| CAPÍTULO 5 .....   | 102 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS.....  | 102 |

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

Em várias regiões do planeta a qualidade da água é considerada imprópria para o consumo humano e criação de animais por apresentar elevadas concentrações de sais, principalmente no período de seca, mesmo assim, é utilizada para uso agrícola e doméstico, na ausência de água potável. Na busca de alternativas para o seu melhor aproveitamento, tem-se avaliado a utilização dessas águas de qualidade inferior na irrigação de plantas tolerantes a salinidade.

Entretanto, a salinização do solo será uma questão de tempo, como consequência da utilização dos sistemas de irrigação mal planejados, principalmente quando associados ao uso de água de qualidade inferior. A salinidade consiste no aumento das concentrações de sais na solução do solo ou água acima da capacidade do desenvolvimento das plantas. Essa é considerada um dos principais estresses abióticos que afeta a produção agrícola. Assim, o cultivo de plantas tolerantes à salinidade pode ser uma alternativa de economia agrícola, com boas perspectivas de produção e renda aos produtores, permitindo a manutenção do homem no campo.

No mundo as áreas afetadas por sais são crescentes, principalmente nas regiões áridas e semiáridas. Nessas áreas, o sistema de produção economicamente viável é dependente da irrigação devido à insuficiência hídrica e a irregularidade de distribuição das chuvas (CAVALCANTE *et al.*, 2011). A irrigação inadequada, associada à baixa qualidade da água são as principais responsáveis pela salinização dos solos cultivados. No mundo, estima-se que 20% das terras irrigadas possuem problema de salinização causado pelo acúmulo de sais da água de irrigação (ARAGÜÉS *et al.*, 2011). No Brasil, estima-se que de 20 a 25% das áreas irrigadas apresentam problemas de salinidade e/ou drenagem, principalmente nos solos aluviais (MOTA *et al.*, 2012).

Os solos salinos, sódicos e solódicos no Brasil ocupam mais de 160.000 km<sup>2</sup>, sendo grande parte localizada na região Nordeste (RIBEIRO *et al.*, 2003). Essa região possui uma área total de aproximadamente 1.558.196 km<sup>2</sup>, dos quais mais de 90.000 km<sup>2</sup> de solos são propensos à salinização (PEREIRA *et al.*, 1986). Nessa região, a salinidade do solo é agravada e tende a se tornar um problema de difícil

solução em virtude do clima, geologia, qualidade e quantidade da água e manejo da irrigação e solo (ARAÚJO *et al.*, 2011). Como a evaporação é maior que a percolação, a água, geralmente rica em sais, desloca-se dos lençóis freáticos para as camadas superficiais do solo, onde fica retido o sal e a água evapora.

Neste contexto, são necessários estudos que viabilizem economicamente a produção agrícola e reduzam os impactos ambientais aproveitando os recursos presentes nessas regiões. Segundo Bezerra *et al.* (2010) a água com elevado teores de sais tem sido empregada com sucesso em diversas localidades em razão da utilização de espécies e/ou cultivares tolerantes à salinidade, associada a práticas adequadas de manejo da cultura, do solo e da água de irrigação.

O acúmulo de sais na água e no solo tem efeitos negativos sobre o rendimento das culturas e resulta em perdas substanciais de solos agrícolas, constituindo sérios obstáculos aos sistemas de produção (CAVALCANTE *et al.*, 2010; SAADAT e HOMAEE, 2015). Dessa forma, conhecer os níveis e os mecanismos de tolerância das plantas a salinidade são fundamentais na implantação de novas espécies nas regiões com disponibilidade de água ou solos que possam apresentar riscos de salinização.

Os principais íons encontrados nos solos salinos são o  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  (VIANA *et al.*, 2001). Esses, quando absorvidos em excesso pelas plantas, podem ser fitotóxicos e reduzir a absorção de alguns nutrientes devido à competição catiônica nos sítios de absorção (APSE e BLUMWALD, 2007; ZANADREA *et al.*, 2014). Também podem ocorrer modificações induzidas pela salinidade no metabolismo das plantas, as quais são consequências de várias respostas fisiológicas e bioquímicas, destacando-se as alterações no balanço hídrico, na nutrição mineral, na eficiência fotossintética, no estresse oxidativo e na homeostase celular (MUNNS e TESTER, 2008; IQBAL *et al.*, 2014).

A interação entre salinidade e nutrição mineral é muito complexa porque é influenciada por espécies, genótipos, idade da planta, composição dos sais, nível de salinidade, concentração de nutrientes no substrato e as condições climáticas (FAGERIA *et al.*, 2011). No entanto, a planta também pode desenvolver mecanismos para tolerar e sobreviver a esse fator, mas consequentemente a produtividade será afetada.

Entre os mecanismos de tolerância à salinidade a planta pode excluir ou compartimentalizar íons tóxicos ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) no vacúolo e solutos orgânicos

compatíveis no citoplasma (carboidratos, aminoácidos, proteínas solúveis e prolina) reduzir a área foliar e aumentar a espessura foliar e entre outros (SILVEIRA *et al.*, 2009; SHARMA *et al.*, 2014). Entretanto, esses mecanismos dependem das características adaptativas e genéticas das plantas (IQBAL *et al.*, 2014).

Diversos estudos têm avaliado a utilização de água salina em espécies frutíferas com o objetivo de avaliar o seu efeito no crescimento das plantas (ZUAZO *et al.*, 2004; COSTA *et al.*, 2013b; TERCEIRO NETO *et al.*, 2013). O noni (*Morinda citrifolia* L.) é uma fruta medicinal que se aclimata as mais diversas situações edafoclimáticas, incluindo altos níveis de sais no solo (NELSON e ELEVITCH, 2006). Essa planta pode ser uma das alternativas para o cultivo e a produção comercial nas regiões semiáridas. Assim, a utilização das áreas afetadas pelos sais e/ou das águas de baixa qualidade pode ser viabilizada com o cultivo de plantas mais tolerantes.

O noni é uma fruteira pertencente à família *Rubiaceae*, no qual, as cascas, folhas, flores e frutos são utilizados como remédios fitoterapêuticos pelos povos polinesianos há mais de 2000 anos (MIAN-YING *et al.*, 2002; CHAN-BLANCO *et al.*, 2006). Atualmente foram identificados, na planta do noni, cerca de 200 compostos fitoquímicos, variando a composição química de acordo com a parte da planta analisada (YANG *et al.*, 2010).

O consumo do noni apresenta potencial de mercado promissor, em virtude de estudos científicos terem revelado e confirmado algumas das atividades biológicas descritas pelos povos polinésios como: antioxidante, anti-inflamatória, analgésica, imunomoduladora, antibacteriana e antitumoral (MIAN-YING *et al.*, 2002; CHAN-BLANCO *et al.*, 2006; SERAFINI *et al.*, 2011).

No Brasil o noni é uma planta exótica, havendo pouca informação referente às características agrônômicas para o seu cultivo em escala comercial, principalmente em áreas afetadas por sais. Alguns estudos com salinidade têm mostrado que a irrigação com água de condutividade elétrica de até  $6 \text{ dS m}^{-1}$  reduz o crescimento da planta (SOUZA *et al.*, 2014; SOUTO *et al.*, 2015).

A planta apresenta produção de frutos durante quase todo ano com potencial de aumento de renda aos produtores, principalmente aos pequenos agricultores familiares em áreas afetadas por sais, se constituindo como uma alternativa de geração de renda. No entanto, são necessários mais estudos para compreender os mecanismos fisiológicos e bioquímicos do noni à salinidade.

Diante do exposto, o presente estudo parte da hipótese que a salinidade afeta o desenvolvimento, as trocas gasosas e a nutrição mineral do noni, contudo a planta apresenta mecanismos fisiológicos e bioquímicos de tolerância ao estresse salino. Assim, conhecer os efeitos da salinidade nas plantas de noni é essencial para o seu cultivo de noni em solo afetados por sais ou o aproveitamento de água salobra.

Tendo em vista a importância dessa cultura como uma alternativa de produção para os agricultores e, também a falta de informações disponíveis acerca das respostas da planta sob condições salinas, o objetivo deste trabalho buscou avaliar os efeitos do estresse salino sobre o crescimento, relações hídricas, trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos, fluorescência da clorofila *a* e acúmulo de solutos inorgânicos e orgânicos em plantas de noni (*Morinda citrifolia* L.), com vistas a uma melhor compreensão dos mecanismos de tolerância à salinidade.

## 1.2. REVISÃO DE LITERATURA

### 1.2.1. Características botânicas do noni

O noni é uma planta pertencente ao gênero *Morinda*, apresenta aproximadamente 80 espécies (CHAN-BLANCO *et al.*, 2006).

A classificação botânica está descrita conforme Müller (2007):

Reino: Plantae

Divisão: Magnoliophyta

Classe: magnoliopsida

Ordem: Gentianales

Família: *Rubiaceae*

Gênero: *Morinda*

Espécie: *Morinda citrifolia*

Nome Científico: *Morinda citrifolia* Linn

O noni (*Morinda citrifolia* Linn) pertencente à família *Rubiaceae*, é uma fruteira que possui características medicinais (CHAN-BLANCO *et al.*, 2006). O noni é nativo do sudeste da Ásia para a Austrália sendo cultivado na Polinésia, Índia, Caribe, América Central e norte da América do Sul (DIXON *et al.*, 1999; ROSS,



2001). No Brasil, há relatos de cultivo nos Estados do Acre, São Paulo, Pará, Sergipe e Ceará (CORREIA, 2010).

A *Morinda citrifolia* é uma árvore que varia de 3-10 m de altura, com abundantes folhas largas elípticas, com flores perfeitas que se unem na base do capítulo formando a inflorescência do noni e os frutos são chamados de infrutescências (SILVA, 2010). Em condições favoráveis, a planta inicia a produção entre nove a doze meses após o plantio, entretanto, possui baixa produção por planta e sem valor comercial CHAN-BLANCO *et al.*, 2006). Ao iniciar a produção, a planta dá frutos o ano inteiro aumentando a produção com os anos, mas com algumas sazonalidades (NELSON, 2003). No Havaí, plantas com cinco anos de idade, em boas condições de fertilidade do solo, disponibilidade de água e controle fitossanitário podem produzir até 69.600 frutos por ano com duas a três colheitas por mês (NELSON, 2003; CHAN-BLANCO *et al.*, 2006).

O fruto do noni é de formato ovóide, suculento e apresenta várias sementes triangulares de cor vermelha. Quando verde apresenta coloração da casca verde e à medida que o fruto amadurece apresenta amarela esbranquiçada, no qual, a casca do fruto apresenta uma película, facilmente retirada. A polpa ocorre mudança de coloração à medida que o fruto amadurece, passando da cor verde para amarela esbranquiçada (SILVA, 2010). Os frutos são climatérios, podendo ser colhidos antes do amadurecimento (fruto duro), favorecendo o transporte (NELSON, 2003).

### 1.2.2. Exigências edafoclimáticas do noni

A planta do noni adapta-se as mais diversas condições climáticas, solos e sob estresses ambientais. No Havaí desenvolve-se em quase todas as condições de solo, baixas altitudes, entre rochas e áreas influenciadas por água salobra de maré (NELSON, 2003).

O noni cresce, desenvolve e produz em áreas com precipitação média anual entre 250 e 4000 mm e altitude de até 800 m, cuja amplitude alcança as regiões áridas e as extremamente úmidas, no entanto, quando a precipitação ocorre com frequência para o índice mais baixo há necessidade de irrigação (NELSON, 2006).

O cultivo do noni, devido às suas características adaptativas às condições ambientais, constitui uma alternativa para estudos em regiões áridas e semiáridas onde a incidência de salinização do solo devido aos baixos índices pluviométricos e

alta evaporação limitam a produção agrícola (SILVA, 2010). Esta planta tolera altos níveis de sais de fertilização na zona da raiz, sem danos ou queima para a planta (NELSON, 2003).

A adubação utilizada no Havá é a semelhante para o café. Em plantas novas onde não há frutificação a adubação recomendada de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são 14-14-14 ou 16-16-16, enquanto plantas em estágio de floração e frutificação demanda grandes quantidades de fósforo para produzir frutos grandes com alta produção por planta, como 10-20-20 e 1-45-10 (NELSON, 2003). Em estudo realizado com a cultura do noni no estado do Maranhão a adubação utilizada foi esterco bovino no plantio e quinzenalmente a adubação química 14-14-14 de N-P-K (NASCIMENTO, 2012).

Em relação as condições ambientais Souto et al. (2014), observaram que na produção de mudas de noni com irrigação localizada com água salobra o mais indicado é o ambiente com 50% de sombreamento na parte superior e lateral em relação ao céu aberto. Nestas condições, as plantas foram mais tolerantes à salinidade.

### 1.2.3. Importância fitoterapêuticas do noni

O noni é uma planta medicinal utilizada a mais de 2000 anos pelos povos polinésios, que possui uma ampla variedade de efeitos fitoterapêuticos é também utilizada para cosméticos (CHAN-BLANCO *et al.*, 2006; SERAFINI *et al.*, 2011). O consumo do noni tem aumentado devido a estudos científicos terem revelado e confirmado algumas das atividades biológicas do noni descritas pelos povos polinésios como: atividade antioxidante, anti-inflamatória, analgésica, imunomoduladora, antibacteriana e antitumoral, mas há relatos que possui uma vasta gama de efeitos terapêuticos, incluindo os antivirais como o vírus da AIDS, antifúngicos, antihelmintos, hipotensor, entre outros (MIAN-YING *et al.*, 2002; CHAN-BLANCO *et al.*, 2006; SERAFINI *et al.*, 2011).

Várias publicações têm demonstrado que o noni pode ser utilizado para aliviar doenças de diferentes causas tais como artrites e diabetes (CHAN-BLANCO *et al.*, 2006). As raízes, caules, cascas, folhas, flores e frutos da planta têm sido utilizados como remédios fitoterapêuticos, podendo ser utilizada como alimento, bebida e para tingir tecidos (MIAN-YING *et al.*, 2002).

Atualmente foram identificados na planta do noni cerca de 200 compostos fitoquímicos, variando a composição química de acordo com a parte da planta analisado (YANG *et al.*, 2010). Segundo os mesmos autores a composição físico-química do fruto do noni ainda não é conhecida, apenas informações parciais do suco do noni estão disponíveis.

Portanto, os benefícios medicinais já comprovados e que ainda são estudados, valores nutricionais e ótima adaptabilidade as mais diversas condições edafoclimáticas do noni pode desempenhar um papel importante na economia dos países produtores.

#### 1.2.4. Efeitos dos sais na planta

A salinidade no solo provoca efeitos diretos e indiretos no crescimento e desenvolvimento das plantas. Os principais efeitos diretos são causados pelo acúmulo de sais na rizosfera que limita a absorção de água pelas plantas (MUNNS e TESTER, 2008). Os efeitos indiretos são provocados pelo acúmulo de íons tóxicos que causam desequilíbrios iônicos e nutricionais (IQBAL *et al.*, 2014).

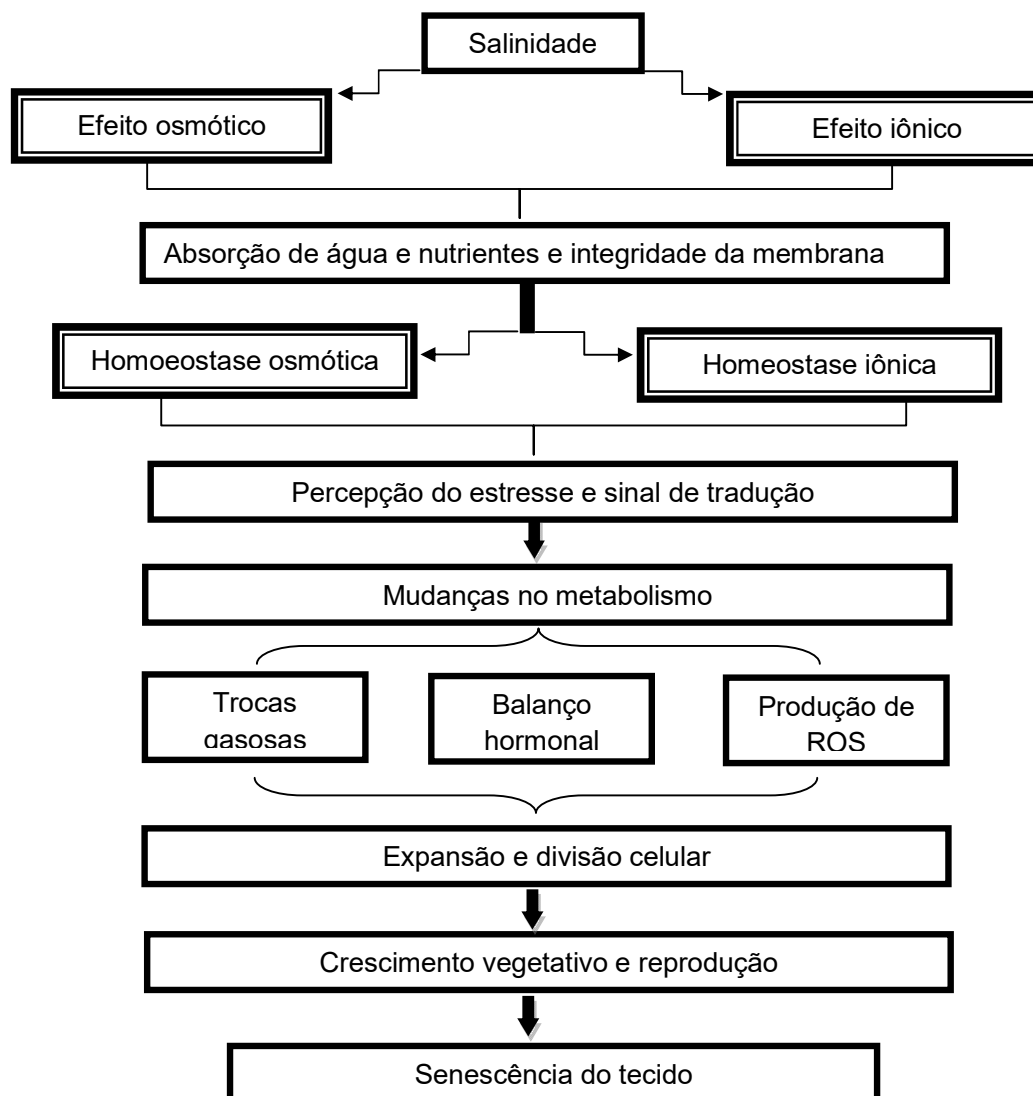
Os dois componentes que são responsáveis pelo estresse salino são o osmótico e o iônico (Figura 1.1), que podem alterar a absorção de água e nutrientes e a integridade da membrana, ocasionando mudanças na homeostase osmótica e iônica, nas trocas gasosas, mudanças no metabolismo, produção de espécies reativas de oxigênio, alterações hormonais, redução na expansão e divisão celular (AZEVEDO NETO e SILVA, 2015).

As plantas apresentam diversos mecanismos de defesas para sobreviver em condições de estresse salino. Entre elas, pode-se destacar: a exclusão ou retenção de íons tóxicos evitando seu acúmulo, a seletividade do transporte de  $K^+$  sobre o  $Na^+$  e o ajustamento osmótico que consiste no acúmulo líquido de solutos orgânicos e inorgânicos, resultando na diminuição do potencial osmótico da célula e na manutenção do potencial da água (MUNNS e TESTER, 2008; BAI *et al.*, 2008; ADOLF *et al.*, 2012).

Segundo Rocha (2010), ainda é obscuro a separação dos fatores que afetam o desenvolvimento da planta sob condições de estresse salino. Portanto, compreender os mecanismos de tolerância das plantas, em ambientes com altas

concentrações de sais no solo, pode ajudar a melhorar a produtividade em solos salinos (TAVAKKOLI *et al.*, 2010).

Figure 1.1. Mudanças fisiológicas e bioquímicas em plantas quando submetidas ao estresse salino (Adaptado de Azevedo Neto e Silva *et al.*, 2015).



#### 1.2.4.1. Efeito osmótico dos sais nas plantas

A absorção de água pelos tecidos das raízes das plantas ocorre quando as forças de embebição são superiores as forças com que a água é retida no solo (DIAS e BLANCO, 2010). A elevada concentração de sais diminui a disponibilidade

de água por diminuir o potencial osmótico do solo (MUNNS e TESTER, 2008). O aumento da tensão osmótica causada pelo excesso de sais solúveis na solução do solo poderá atingir um nível que impedirá as plantas de absorverem água e nutrientes, sendo este processo também denominado de seca fisiológica (DIAS e BLANCO, 2010).

O nível de salinidade do solo é indicado pela condutividade elétrica no extrato de saturação ( $CE_{es}$ ) e a partir dessa pode-se estimar o potencial osmótico do solo. Em solos salinos e de textura média, a CE na capacidade de campo é cerca de duas vezes a  $CE_{es}$  e no ponto de murcha permanente cerca de quatro vezes a  $CE_{es}$  (DIAS e BLANCO, 2010). A água de drenagem ou de lixiviação em solos de textura média na capacidade de campo é superior em duas vezes a  $CE_{es}$  (AYERS e WESTCOT, 1999). Assim, a mensuração da  $CE_{es}$  no solo é essencial para a implantação de uma cultura.

O movimento de água do solo para a planta é devido à diferença de potencial. A concentração de sais na solução do solo pode ser tão elevada que a planta pode perder água para o solo, podendo levar à plasmólise (DIAS e BLANCO, 2010). No entanto, nem todas as plantas são afetadas pela mesma concentração de sais no solo.

As plantas são classificadas quanto ao nível de tolerância à salinidade em: glicófitas e halófitas. As glicófitas são plantas sensíveis aos sais e tendem a excluir os sais no processo de absorção da água do solo (WILLADINO e CAMARA, 2010). As plantas halófitas são plantas capazes de realizar o ajustamento osmótico, para tanto, elas acumulam os íons absorvidos no vacúolo das células foliares, mantendo a concentração salina no citoplasma e nas organelas em baixos níveis e, desta forma, o excesso de sais não interfere na hidratação das proteínas e nos mecanismos enzimáticos e metabólicos da planta (SILVA *et al.*, 2000). Além disso, essas plantas são capazes de manter a exclusão de sais na rizosfera, em teores de sais mais elevadas no solo, que as plantas glicófitas (MUNNS e TESTER, 2008). Segundo os mesmos autores, na maioria das culturas o nível limitante de salinidade do solo é de aproximadamente 40 mM de NaCl ou menos para culturas sensíveis.

As plantas apresentam respostas fisiológicas ao estresse osmótico, que podem variar conforme a espécie e até mesmo a cultivar (DEINLEIN *et al.*, 2014). Essas diferenças podem ser usadas para selecionar plantas mais tolerantes ao estresse salino (ARAÚJO *et al.*, 2010), no entanto, é uma área de pesquisa com

muitas incógnitas, sendo necessários mais estudos para uma melhor compreensão da tolerância osmótica das plantas (DEINLEIN *et al.*, 2014; ROY *et al.*, 2014).

#### 1.2.4.2. Efeitos tóxicos do Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas plantas

A salinidade pode causar distúrbios nutricionais (deficiência/toxicidade) que limitam a produtividade das culturas em todos os tipos de solos no mundo (FAGERIA *et al.*, 2011; FEIJÃO *et al.*, 2013). Durante o efeito da salinidade na planta, determinados processos são danificados, tais como: síntese de proteínas, metabolismo de lipídios e fotossíntese (ESTEVES e SUZUKI, 2008; SOUSA *et al.*, 2011).

Os íons que provocam toxicidades nas plantas, normalmente são os cloretos, sódio e boro e a absorção acelera a acumulação destes sais na planta (DIAS e BLANCO, 2010). Em solos salinos, a planta necessita de mais energia para absorver nutrientes ao seu desenvolvimento, devido às concentrações de sais não essenciais estarem mais concentrada que os elementos essenciais (FAGERIA *et al.*, 2011).

Os íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> podem ser absorvidos via sistema radicular como também ser absorvidos pelas folhas quando a irrigação é por aspersão e, sobretudo, durante temperatura alta e baixa umidade relativa do ar (DIAS e BLANCO, 2010). No entanto, estes sais são excluídos pelas raízes, na maioria das plantas, enquanto a água é absorvida a partir do solo (MUNNS e TESTER, 2008).

O acúmulo de Na<sup>+</sup> nas folhas pode desestabilizar membranas e proteínas e afeta negativamente os processos celulares e fisiológicos fundamentais como a divisão e expansão, o metabolismo primário e secundário e homeostase de nutrientes minerais (MUNNS e TESTER, 2008). O Na<sup>+</sup> parece atingir uma concentração tóxica antes que o Cl<sup>-</sup> para a maioria das culturas, por isso, a maioria dos estudos se concentram na exclusão do Na<sup>+</sup> e no controle do transporte do Na<sup>+</sup> dentro da planta (MUNNS e TESTER, 2008). O principal local de toxicidade do Na<sup>+</sup> para a maioria das plantas é o limbo (folha), onde o Na<sup>+</sup> acumula-se depois de ter sido depositado através do fluxo de transpiração, mais do que nas raízes (MUNNS, 2002). Os sintomas típicos de toxicidade do Na<sup>+</sup> em plantas aparecem em forma de queimaduras ou necroses ao longo das bordas da folhas. A depender da espécie as

folhas podem apresentar coloração verde azulada e encurvamento das mesmas (DIAS e BLANCO, 2010).

O  $\text{Cl}^-$  é o ânion predominante na maior parte dos solos salinos (TAVAKKOLI *et al.*, 2010). Esse ânion não é adsorvido pelas micelas das argilas, desloca-se facilmente com a água do solo, porém é absorvido pelas raízes e translocados às folhas, onde se acumula pela transpiração (DIAS e BLANCO, 2010). Altas concentrações de  $\text{Cl}^-$  reduz a capacidade fotossintética e rendimento devido à degradação da clorofila, que pode resultar em um impacto estrutural de alta concentração de  $\text{Cl}^-$  no fotossistema II (FSII) (TAVAKKOLI *et al.*, 2010). O sintoma de toxidez do  $\text{Cl}^-$  aparece no ápice das folhas novas, que em estágios avançados, atinge as bordas e provoca a queda prematura das folhas.

O mesmo nível de salinidade em determinado tipo de solo pode apresentar diferentes graus de toxidez para diferentes espécies de plantas. Portanto, dentro de muitas espécies, existe variação genética documentada da taxa de acumulação de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas, bem como o grau em que estes íons podem ser tolerados (MUNNS e TESTER, 2008). Segundo Sousa *et al.* (2011), a intensidade dos danos depende da concentração em que se encontra no substrato, do tempo de exposição, tolerância da cultura e o volume de água transpirado. Assim, estudos que compreendam como os íons tóxicos afetam o desenvolvimento da planta são fundamentais na obtenção de espécies tolerantes à salinidade e no manejo do solo.

#### 1.2.5. Acúmulo de solutos nas plantas sob estresse salino

As plantas podem acumular solutos orgânicos e inorgânicos para manter a homeostase celular quando submetidas às condições de estresses salinos. A acumulação desses solutos diminui o potencial hídrico da planta, facilita a absorção de água e protege as estruturas celulares (MUNNS *et al.*, 2006). Esse mecanismo de tolerância é essencial para a manutenção do crescimento das plantas cultivadas em ambiente salino (SILVEIRA *et al.*, 2009).

Os íons normalmente acumulados sob estresse salino são o  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . A acumulação do  $\text{Na}^+$  normalmente interfere nos processos fisiológicos e bioquímicos dependentes do  $\text{K}^+$ , resultando em alterações metabólicas desfavoráveis ao desenvolvimento da planta (ALVES *et al.*, 2012; MEKAWY *et al.*, 2015). Em alguns estudos, os teores de  $\text{K}^+$  nas plantas têm reduzido com o incremento da salinidade

(SILVA *et al.*, 2009; SILVEIRA *et al.*, 2009; GENGMAO *et al.*, 2015). Em cajueiro, a redução nos teores de  $\text{Na}^+$  foi decorrente da restrição da absorção pelas raízes (ALVES *et al.*, 2012).

O acúmulo dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas pode ser tóxico em algumas plantas, mas também pode contribuir para o ajuste osmótico. Em pinhão-manso esses íons contribuíram cerca de 52 e 20%, respectivamente para o ajustamento osmótico das folhas de plantas tratadas com NaCl (SILVA *et al.*, 2009).

As plantas podem acumular solutos nos diferentes órgãos para tolerar os estresses ambientais. No entanto, a acumulação de solutos inorgânicos nas folhas é dependente da capacidade de exclusão e/ou compartimentalização em órgãos como o caule e as raízes (SPERLING *et al.*, 2014). Segundo MUNNS e TESTER (2008), são consideradas as adaptações mais importantes na tolerância à salinidade as plantas que possuem a capacidade de restringir o transporte e acumulação de íons tóxicos nas folhas.

Os solutos compatíveis mais estudados em plantas sob estresse salino são os carboidratos solúveis, aminoácidos livres, proteínas solúveis e prolina livre (LEE *et al.*, 2008; AZEVEDO NETO *et al.*, 2004; 2009; ROSA *et al.*, 2009; SACRAMENTO *et al.*, 2014). Entre esses, os carboidratos e aminoácidos são os solutos com maior contribuição para o potencial osmótico (SILVA *et al.*, 2009). Portanto, a acumulação de solutos orgânicos reflete a capacidade de algumas espécies ajustarem osmoticamente às condições de estresses (SILVA *et al.*, 2010).

A prolina é um aminoácido importante para as plantas sob condições de estresse (LEE *et al.*, 2008). Na literatura, há relatos de que a prolina possui diversas funções tais como: estabilização de membranas e proteínas, remoção de radicais livres, manutenção da homeostase redox celular, aumento da atividade de diferentes enzimas, reserva de carbono e nitrogênio, controle do pH citosólico e desintoxicação do excesso de  $\text{NH}_4^+$  (AZEVEDO NETO; SILVA, 2015). Portanto, o acúmulo de prolina livre é um dos mecanismos adaptativos utilizados pelas plantas para minimizar os efeitos adversos da salinidade (IQBAL *et al.*, 2014). Em plantas de noni a prolina tem-se mostrado como um sinalizador de danos causado pelo estresse (SOUZA *et al.*, 2014).

O acúmulo de solutos orgânicos e inorgânicos nas células é importante para manter a integridade celular e o seu desequilíbrio causado pela salinidade, pode afeta a produtividade da cultura. Deste modo, o estudo desses solutos sob



condições de estresse é fundamental para compreender a tolerância das plantas à salinidade.

#### 1.2.6. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a

As variáveis de trocas gasosas e fluorescência da clorofila a têm sido utilizadas para avaliar as respostas das plantas à salinidade e na seleção de genótipos tolerantes (SILVA *et al.*, 2011; AZEVEDO NETO *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014). Além disso, são variáveis de rápida determinação, permite acompanhar o desenvolvimento da planta por ser uma metodologia não-invasiva proporcionando informações qualitativas e quantitativas sobre as condições fisiológicas dos processos fotossintéticos (SIVA *et al.*, 2011; KALAJI *et al.*, 2014).

As avaliações das trocas gasosas permitem elucidar os efeitos da salinidade na fotossíntese, condutância estomática, transpiração, eficiência do uso da água e na eficiência de carboxilação. A salinidade, em algumas culturas, tem reduzido a fotossíntese, condutância estomática e transpiração pelo acúmulo dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  e limitação estomática (PRAXEDES *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011; RODRIGUES *et al.*, 2014). No entanto, em *P. karpa* a redução na disponibilidade de água e  $\text{CO}_2$  nas folhas foram os principais responsáveis na redução da fotossíntese (ABIDEEN *et al.*, 2014).

A fluorescência da clorofila a tem sido utilizada como método rápido de determinação para avaliar a eficiência fotossintética nas plantas (ZRIBI *et al.*, 2009; SGHAIER *et al.*, 2015). A clorofila quando excitada pela luz é extremamente instável. Para retornar ao estado inicial a energia deve ser dissipada pelos processos: fluorescência; a molécula pode converter a energia na forma de calor, sem nenhuma emissão de fótons; transferência de energia e dissipação fotoquímica (TAIZ e ZEIGER, 2013). Entre os processos de dissipação de energia por essas moléculas, a determinação da fluorescência da clorofila a tem sido utilizada em diversas culturas para analisar o comportamento da planta quando submetida a diversas condições edafoclimáticas (AZEVEDO NETO *et al.*, 2011; ABIDEEN *et al.*, 2014; SGHAIER *et al.*, 2015).

O método de determinação da fluorescência da clorofila a parte do princípio de que, quando a folha adaptada ao escuro, os centros de reação do FSII ficam abertos e, ao receber luz, a fluorescência da clorofila diminui devido à indução da

atividade das enzimas envolvidas na assimilação de CO<sub>2</sub> e da abertura estomática determinada pela transferência de elétrons para o FSII (GUIDI e DEGL'INNOCENTI, 2011).

As variáveis de adaptação ambiental normalmente utilizadas são a fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), rendimento quântico potencial do FSII em estado oxidado ( $F_v/F_m$ ), eficiência quântica efetiva do FSII ( $Y_{II}$ ) e coeficientes de extinção fotoquímica e não-fotoquímica. Os rendimentos de fluorescência inicial ( $F_0$ ) e máximos ( $F_m$ ) são importantes devido a estas variáveis servirem como referência para a avaliação dos coeficientes de extinção fotoquímica e não-fotoquímica que ocorrem nas membranas dos tilacóides das plantas (BAKER, 2008; GUIDI e DEGL'INNOCENTI, 2011).

As plantas quando estão sob condições de estresse ocorre um aumento no valor de  $F_0$ , devido aos danos causados no centro de reação do FSII ou a redução na capacidade de transferência de energia de excitação da antena do centro de reação (BAKER e ROSENQVIST, 2004). Portanto, os valores de  $F_0$ , assim como os de  $F_m$ , indicam qualquer alterações na estrutura das membranas dos tilacóides e organização em respostas aos estresses abióticos (BAKER, 2008).

A relação  $(F_m - F_0)/F_m$  tem sido utilizada para detectar alterações no sistema fotossintético causado pelo estresse salino (AZEVEDO NETO et al., 2011). Esta relação representa a eficiência relativa de captação de energia de luz pelo FSII (BAKER, 2008). Segundo Bolhàr-Nordenkampf *et al.* (1989), quando as plantas estão com seu aparelho fotossintético intacto, a razão  $F_v/F_m$  deve variar entre 0,75 e 0,85, enquanto uma queda nesta razão reflete a presença de dano fotoinibitório nos centros de reação do FSII. O  $Y_{II}$  é uma importante variável, pois reflete a capacidade efetiva da planta em converter energia de fótons em energia química (KLUGHAMMER e SCHREIBER, 2008). Assim, a utilização das variáveis de fluorescência da clorofila a permitem avaliar a redução na perturbação de transporte de elétrons avaliada pela emissão de calor sob a forma de radiação infravermelha ou por fluorescência (LUCENA *et al.*, 2012).

#### 1.2.7. O noni e a salinidade

A *M. citrifolia* é uma planta que possui diversas propriedades fitoterapêuticas. As sementes, casca e polpa do noni possuem quantidades

significativas de carboidratos, proteínas, vitamina C, carotenóides totais e compostos fenólicos totais que apresentam atividade antioxidante *in vitro* (COSTA *et al.*, 2013a). Portanto, o noni apresenta quantidades de compostos bioativos essenciais na alimentação humana.

O cultivo e a comercialização do noni têm despertado o interesse em vários mercados consumidores, incluindo o Brasil, pelas diversas propriedades medicinais da fruta (SOUTO *et al.*, 2013). Associado a essas características, a planta de noni pode ser cultivada em diversas condições ambientais, incluindo altos níveis de salinidade do solo e água.

Avaliando os níveis de salinidade na água de irrigação no crescimento inicial de noni SOUZA *et al.* (2014) constaram que a salinidade reduziu a massa seca da parte aérea, raiz, total e área foliar das plantas, sendo que o efeito adverso da salinidade foi mais pronunciada 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 no nível mais elevado de sal ( $6 \text{ dS m}^{-1}$  na água de irrigação), entretanto a salinidade não afetou os teores de carboidratos solúveis, aminoácidos livres e proteínas. Assim, a prolina pode ser um sinalizador de dano causado pelo estresse decorrente aos maiores acúmulos de sais ocorrerem nas plantas com maiores reduções no crescimento.

Souto *et al.* (2015) também reportaram inibição na produção de frutos e partição de biomassa seca das plantas de noni quando irrigada com doses crescente de até  $6 \text{ dS m}^{-1}$  em solo sem e com biofertilizante bovino. Para SOUTO *et al.* (2016) utilizando as mesmas doses na água de irrigação observaram aumento do caráter salino do solo que comprometeu o crescimento e a produção de biomassa total das plantas.

A irrigação com água salina acumula quantidade de sais no solo que pode impossibilitar o desenvolvimento da planta. Portanto, o manejo do solo e da água é necessário para manter a produção das culturas, principalmente sob condições salinas.

### 1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIDEEN, Z.; KOYRO, H. -W.; HUCHZERMAYER, B.; AHMED, M. Z.; GUL, B.; KHAN, M. A. Moderate salinity stimulates growth and photosynthesis of *Phragmites karka* by water relations and tissue specific ion regulation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 105, p. 70-76, 2014.

ADOLF, V. I.; JACOBSEN, S.-E.; SHABALA, S. Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Environmental Botany**, v. 92, p. 43-54, 2013.

ALVES, F. A. L.; SILVA, S. L. F.; ARAÚJO, A. T. B. D.; PEREIRA, V. L. A.; SILVEIRA, J. A. G. Cinética de absorção de  $K^+$  na ausência e presença de  $Na^+$  em raízes de cajueiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 439-445, 2012.

APSE, M. P.; BLUMWALD, E.  $Na^+$  transport in plants. **Federation of European Biochemical Societies**, v. 581, p. 2247-2254, 2007.

ARAGÜÉS, R.; URDANOZ, V.; ÇETIN, M.; KIRDA, C.; DAGHARI, H.; LTIFI W.; LAHLOU, M.; DOUAIK, A. Soil salinity related to physical soil characteristics and irrigation management in four Mediterranean irrigation districts. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 959-966, 2011.

ARAÚJO, C. A. S.; RUIZ, H. A.; CAMBRAIA, J.; NEVES, J. C. L.; FREIRE, M. B. G.; FREIRE, F. J. Seleção varietal de *Phaseolus vulgaris* quanto à tolerância ao estresse salino com base em variáveis de crescimento. **Revista Ceres**, v. 57, p. 132-139, 2010.

ARAÚJO, P. B. COSTA, R. N. T., LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no Perímetro irrigado Curu-Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 377-382, 2011.

AZEVEDO NETO, A. D.; PEREIRA, P. P. A.; COSTA, D. P.; SANTOS, A. C. C. Fluorescência da clorofila como uma ferramenta possível para seleção de tolerância à salinidade em girassol. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 893-897, 2011.

AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Changes in soluble amino-N, soluble proteins and free amino acids in leaves and roots of salt-stressed maize genotypes. **Journal of Plant Interactions**, v. 4, p. 137-144, 2009.

AZEVEDO NETO, A. D.; SILVA, E. C.; Physiology and biochemistry of soil stress tolerance in plants. *In*: Chakraborty, U.; Chakraborty B. **Abiotic Stresses in Crop Plants**. CABI: Wallingford, 2015. p. 81-101.

BAI, W.; LI, P.; FUJIYAMA, H.; FAN, F. Some physiological responses of Chinese Iris to salt stress. **Pedosphere**, v. 18, p. 454-463, 2008.

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

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p. 1607-1621, 2004.

BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1075-1082, 2010.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; ÖQUIST, G.; SCHREIDER, U.; LECHNER E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514, 1989.

CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, R. V.; HERNANDEZ, F. F. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, T. J. Recuperação de solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.;

LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza:INCTSal, 2010. p. 12-19.

CHAN-BLANCO, Y.; VAILLANT, F.; PEREZ, A. M.; REYNES, M.; BRILLOUET, JEAN-MARC; BRAT, P. The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): a review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 645-654, 2006.

CORREIA, A. A. S. **Maceração enzimática da polpa de noni (*Morinda citrifolia* L.)** 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimento). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

COSTA, A. B.; OLIVEIRA, O. M. C.; SILVA, A. M. O.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. Atividade antioxidante da polpa, casca e sementes do noni (*Morinda citrifolia* Linn). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 345-354, 2013a.

COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F.; PORTO FILHO, F. Q.; SILVA, J. S.; COSTA, F. G. B.; FREITAS, D. C. Produção e qualidade de melancia cultivada com água de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 947-954, 2013b.

DEINLEIN, U.; STEPHAN, A. B.; HORIE, T.; LUO, W.; XU, G.; SCHROEDER. Plant salt-tolerance mechanisms. **Trends in Plant Science**, v. 19, p. 371-379, 2014.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e publicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010, p. 130-141.

DIXON, A. R.; MCMILLEN, H.; ETKIN, A. L. Ferment This: the transformation of Noni, a traditional Polynesian medicine (*Morinda citrifolia*, *Rubiaceae*). **Journal Economic Botany**, v. 53, p. 51-68, 1999.

ESTEVEZ, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, p. 662-679, 2008.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R.; MOREIRA, A. Nutrient bioavailability in salt affected soils. **Journal of Plant Nutrition**. v. 34, p. 945-962, 2011.

FEIJÃO, A. R.; MARQUES E. C.; SILVA, J. C. B.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. **Bragantia**, v. 72, p. 10-19, 2013.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO (2008). **Land and plant nutrition management service**. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/ag1/ag11/spush>> Acesso em: 26/09/2014.

FREITAS, M. A. C. **Crescimento, trocas gasosas e acúmulo de solutos em três espécies do gênero *Plectranthus* sob diferentes níveis de salinidade e luminosidade**. 2012. 102 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: solos e nutrição de plantas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

GENGMAO, Z.; YU, H. XING, S. SHIHUI, L. QUANMEI, S.; CHANGHAI, W. Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity insafflower. **Industrial Crops and Products**, v. 64, p.175-181, 2015.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. *In*: OLIVEIRA, T, ASSIS JR., R. N. ROMERO, R. E. E SILVA, J. R. C. (eds.) **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 329-345, 2000.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2010, 472p.

GUIDI, L.; DEGL'INNOCENTIIMAGING, E. Imaging of chlorophyll a fluorescence: a tool to study abiotic stress in plants: *In* SHANKER, A. K. (ed): **Abiotic Stress in Plants - Mechanisms and Adaptations**. Available at: <http://www.intechopen.com/books/abiotic-stress-in-plants-mechanisms-and-adaptations/imaging-of-chlorophyll-a-fluorescence-a-tool-to-study-abiotic-stress-in-plants>, 2011.

HOLANDA, J. S., AMORIM, J. R. A., FERREIRA NETO, M. HOLANDA, A. C. Qualidade da água para irrigação. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010, p. 43-59.

IQBAL, N. UMAR, S.; KHAN, N. A.; KHAN, M. I. R. A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: regulation of proline metabolism. **Environmental and Experimental Botany**, v. 100, p. 34-42, 2014.

KALAJI, H. M.; OUKARROUM, A.; ALEXANDROV, V.; KOUZMANOVA, M.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SAMBORSKA, I. A.; CETNER, M. D.; ALLAKHVERDIEV, S. I.; GOTSEV, V. Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 81, p. 16-25, 2014.

KLUGHAMMER, C.; SCHREIBER, U. Complementary PSII quantum yield calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and saturation pulse method. **PAM Application Notes**, v. 1, p. 27-35, 2008.

LEE, G.; CARROW, R.N.; DUCAN, R. R.; EITEMAN, M. A.; RIEGER, M. W. Synthesis of organic osmolytes and salt tolerance mechanisms in *Paspalum vaginatum*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, p. 19-27, 2008.

LUCENA, C. C.; SIQUEIRA, D. L.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Salt stress change chlorophyll fluorescence in mango. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, p. 1245-1255, 2012.

MEKAWY, A. M. M. ASSAHA, D. V.M.; YAHAGI, H.; TADA, Y.; UEDA, A.; SANEOKA, H. Growth, physiological adaptation, and gene expression analysis of two Egyptian rice cultivars under salt stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 87, p. 17-25, 2015.

MOTA, L. H. S. O.; GOMES, A. S.; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H. M. F.; SILVA, T. A. Risco de salinização das terras do baixo Acaraú (CE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1203-1209, 2012.



MÜLLER, J. C. **Toxicidade reprodutiva da *Morinda citrifolia* Linn.** 2007.103f. Dissertação (Mestrado em Farmacologia) - Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

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

MUNNS, R., JAMES, R. A., LAUCHLI, A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 1025-1043, 2006.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mecanismos of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651-681, 2008.

NASCIMENTO, L. C. S. **Caracterização centesimal, composição química e atividade antioxidante do noni (*Morinda citrifolia* L.) cultivado no município de Zé Doca-Ma.** 2012. 83f. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

NELSON, S. C. Noni cultivation and production in Hawaii. *In: Proceedings of the 2002 Hawaii Noni Conference.* University of Hawaii at Nanao. College of Tropical Agriculture and Human Resources. Hawaii, 2003, p. 33-50.

NELSON, S. C. *Morinda citrifolia* (noni) 2006. Disponível em <http://agroforestry.org/images/pdfs/Morinda-noni.pdf>>. Acesso em: 10 mar. de 2016.

PEREIRA, J. R.; VALDIVIESO, C. R.; CORDEIRO, G. G. Recuperação de solos afetados por sódio através do uso de gesso. *In: Seminário sobre o uso do fósforo na agricultura*, 1, 1985, Brasília, Anais...Brasília: IBRAFOS, 1986. p. 85-105.

RIBEIRO, M. Origem e classificação dos solos afetados por sais. *In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados.* Fortaleza: INCTSal, 2010. p.12-19.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. Solos halomórficos no Brasil: ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. *In*: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V. V. H. (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. v. 3. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 165-208.

ROCHA, M. A. **Caracterização morfofisiológica, criopreservação e resposta a salinidade de acessos de pinhão-manso**. 2010. 165 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2010.

ROSA, M.; PRADO, C.; PODAZZO, G.; INTERDONATO, R.; GONZALEZ, J.A; HILAL, M.; PRADO, F. E. Soluble sugars: metabolism, sensing, and abiotic stress. **Plant Signaling & Behavior**, v. 4, p. 388-393, 2009.

ROSS, I. A. Medical plants of the world. **Chemical constituents, traditional and modern medical uses**. 2 ed. New Jersey: Humana Press, 2001. 242p.

ROY, J.; NEGRÃO, S.; TESTER M. Salt resistant crop plants. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 26, p. 115-124, 2014.

SAADAT, S.; HOMAEE, M. Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. **Agricultural Water Management**, v. 152, p. 119-124, 2015.

SACRAMENTO, B. L.; CRUZ, T. S. SILVA, L. L. MOTA, N. A. B.; AZEVEDO NETO, A. D. Pigmentos e teores de solutos orgânicos em plantas de aguapé sob estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, p. 33-44, 2014.

SERAFINI, M. R.; SANTOS, R. C.; GUIMARÃES, A. G.; SANTOS, J. P. A.; ANTOS, D. C.; ALVES, I. A.; GELAIN, D. P.; NOGUEIRA, P. C. L.; QUINTANS-JÚNIOR, BONJARDIM, L. R.; ARAÚJO, A. A. S. *Morinda citrifolia* Linn leaf extract possesses antioxidant activities and reduces nociceptive behavior and leukocyte migration. **Journal of Medicinal Food**, v. 14, p. 1159-1166, 2011.

SGHAIER, D. B.; DUARTE, B.; BANKAJI, I.; CAÇADOR, I.; SLEIMI, N. Growth, chlorophyll fluorescence and mineral nutrition in the halophyte *Tamarix gallica* cultivated in combined stress conditions: Arsenic and NaCl. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, v. 149, p. 204-214, 2015.

SHARMA, R.; BHARDWAJ, R.; THUKRAL, A. K.; HANDA, N.; KAUR, R.; KUMAR, V. Osmolyte dynamics: new strategies for crop tolerance to abiotic stress signals. In: AHMAD, P.; RASSOL, S. **Emerging technologies and management of crops stress tolerance**, v. 2, p. 405-430, 2014.

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

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, J. J. M. **Adubação orgânica e mineral de noni: Desempenho agrônomo, nutrição da planta, qualidade de fruto e de suco**. 2010. 120 f. Tese (Tese em Agronomia: solos e nutrição de plantas). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

SILVA, L. A.; BRITO, M. E. B.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C. L.; SOARES FILHO, W. S.; FERNANDES, P. D. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1-7, 2014.

SILVEIRA, J. A. G.; ARAÚJO, S. A. M.; LIMA, J. P. M. S.; VIÉGAS, R. A. Roots and leaves display contrasting osmotic adjustment mechanisms in response to NaCl-salinity in *Atriplex nummularia*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, p. 1-8, 2009.

SOUSA, A. B. O.; BEZERRA, M. A.; FARIAS, F. C. Germinação e desenvolvimento inicial de clones de cajueiro comum sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 390-394, 2011.

SOUTO, A. G. L.; CAVALCANTE, L. F.; DINIZ, B. L. M. T.; MESQUITA, F. O.; NASCIMENTO, J. A. M.; LIMA NETO, A. J. Água salina e biofertilizante bovino na produção de frutos e partição de biomassa em noni (*Morinda citrifolia* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, p. 340-349, 2015.

SOUTO, A. G. L.; CAVALCANTE, L. F.; LIMA NETO, A. J.; MESQUITA, F. O.; SANTOS, J. B. Biometria em plantas de noni sob irrigação com águas salinas e lixiviação dos sais do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 316-324, 2016.

SOUTO, A. G. L.; CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, J. A. M.; MESQUITA, F. O. LIMA NETO, A. J. Comportamento do noni à salinidade da água de irrigação em solo com biofertilizante bovino. **Revista Irriga**, v. 18, p. 442-453, 2013.

SOUZA, M. C. M.; LACERDA, C. F.; AMORIM, A. V.; MENEZES, A. S.; Influência da matéria orgânica e do ambiente no crescimento e acúmulo de solutos em *Morinda citrifolia* submetida à salinidade. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 704-712, 2014.

SPERLING, O.; LAZAROVITCH, N.; SCHWARTZ, A.; SHAPIRA, O. Effects of high salinity irrigation on growth, gas-exchange, and photoprotection in date palms (*Phoenix dactylifera* L., cv. Medjool). **Environmental and Experimental Botany**, v. 99, p. 100-109, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAVAKKOLI, E.; RENGASAMY, P.; MCDONALD, G. K. High concentrations of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, p. 4449-4459, 2010.

TERCEIRO NETO, C. P.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; CAMPOS, M. S. Produtividade e qualidade de melão sob manejo com água de salinidade crescente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 354-362, 2013.

VIANA, A. P.; BRUCKNER, C. H.; MARTINZ, H. E. P.; HUAMAN, M.; MOSQUIM, P. R. Teores de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Ca<sup>2+</sup> em porta-enxertos de videira em solução salina. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 187-191, 2001.

MIAN-YING, W.; WEST, B. J.; JESEN, C. J.; NOWICKI, D.; CHEN, S.; PALU, A. K.; ANDERSON, G. *Morinda citrifolia* (Noni): A literature review and recent advances in Noni research. **Acta Pharmacologica Sinica**, v. 23, p. 1127-1141, 2002.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, p. 1-23, 2010.

YANG, J.; GADI, R.; PAULINO, R.; THOMSON, T. Total phenolics, ascorbic acid, and antioxidant capacity of noni (*Morinda citrifolia* L.) juice and powder as affected by illumination during storage. **Food Chemistry**, v. 122, p. 627-632, 2010.

ZUAZO, V. H. D.; RAYA, A. M.; RUIZ, J. A. Impact of salinity on the fruit yield of mango (*Mangifera indica* L. cv. 'Osteen'). **European Journal of Agronomy**, v. 21, p. 323-334, 2004.

## CAPÍTULO 2

### **Crescimento e acúmulo de solutos inorgânicos em noni (*Morinda citrifolia* Linn) sob estresse salino**

(Cópia do trabalho aceito na revista African Journal of Agricultural Research obedecendo às normas deste periódico, excetuando-se a numeração das figuras, formatação das páginas e idioma)

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| RESUMO .....                      | 39 |
| ABSTRACT .....                    | 40 |
| 2.1. INTRODUÇÃO .....             | 40 |
| 2.2. MATERIAL E MÉTODOS .....     | 41 |
| 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... | 43 |
| 2.4. CONCLUSÕES .....             | 51 |
| 2.5. REFERÊNCIAS .....            | 51 |

**Crescimento inicial e acúmulo de solutos inorgânicos em noni (*Morinda citrifolia* L) sob estresse salino**

Alide Mitsue Watanabe Cova<sup>1</sup>; André Dias de Azevedo Neto<sup>2</sup>; Rogério Ferreira Ribas<sup>1</sup>; Hans Raj Gheyi<sup>1</sup> e Renata Velasques Menezes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 44380, Bahia, Brasil.

<sup>2</sup> Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, 44380 Bahia, Brasil.

**RESUMO:** O noni é uma espécie frutífera, que apresenta boa adaptação a diversas condições edafoclimáticas, podendo ser uma opção para os produtores das regiões áridas e semiáridas. Visando avaliar a tolerância de mudas de noni à salinidade e o acúmulo de solutos inorgânicos nos diferentes órgãos da planta foi conduzido um experimento em casa de vegetação sob sistema hidropônico. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco doses de NaCl na solução nutritiva (0, 25, 50, 75 ou 100 mM), com quatro repetições. Avaliaram-se a altura, diâmetro do caule, número de folhas, massa seca das folhas, caules e raízes, área foliar, suculência foliar, índice de esclerofilia e os teores de Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e K<sup>+</sup> nos diferentes órgãos da planta após 40 dias de estresse. A salinidade reduziu o crescimento de todos os órgãos da planta. Em contraste, a suculência e o índice de esclerofilia aumentaram em 32% no nível mais salino em comparação as plantas controle. Os teores de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas folhas, caule e raízes aumentaram e os de K<sup>+</sup> diminuíram com o incremento da salinidade. Os maiores teores de K<sup>+</sup> foram observados nas raízes, e os de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas folhas. A salinidade causou alterações na homeostase iônica das plantas de noni, o que pode, ao menos em parte, explicar a redução do crescimento induzida pelo sal.

**Palavras-chave:** Salinidade; cloreto de sódio; íons tóxicos.

## **Growth and inorganic solute accumulation in noni (*Morinda citrifolia*) under salt stress**

**ABSTRACT:** Noni is a fruit species which is well adapted to different soil and climate conditions, and may be a good option for farmers in arid and semi-arid regions. To evaluate the tolerance of noni plant in the initial phase to salinity and the accumulation of inorganic solutes in its organs, an experiment was carried out in a greenhouse under hydroponic system. The experimental design was completely randomized, with five levels of NaCl (0, 25, 50, 75 or 100 mM) in the nutrient solution, and four replicates. Plant height, stem diameter, number of leaves, dry matter of leaves, stems and roots, leaf area, leaf succulence, sclerophylly index and the contents of Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> and K<sup>+</sup> in different plant organs were evaluated after 40 days of stress. Salinity reduced the growth of all plant organs in the initial phase, in contrast, leaf succulence and sclerophylly index increased by 32% at the highest saline level, compared with control plants. The contents of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> in leaves, stems and roots increased, while K<sup>+</sup> contents decreased with the increment in salinity. The highest K<sup>+</sup> contents were observed in the roots and the highest Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> contents were observed in the leaves. Salinity induced disturbances in the ionic homeostasis of noni plants, which can explain, at least in part, the salt-induced growth reduction.

### **2.1. INTRODUÇÃO**

O cultivo de espécies tolerantes à salinidade tem despertado a atenção de pesquisadores e produtores com o intuito de garantir uma produção economicamente viável nas áreas afetadas pelos sais. Os solos salinos estão localizados principalmente nas regiões áridas e semiáridas. Nessas áreas, as condições edafoclimáticas e o manejo da irrigação inadequado favorecem o acúmulo de sais no solo e na água. No Brasil, a região semiárida ocupa uma área de 980.133.079 km<sup>2</sup>, localizada principalmente no Nordeste do país com aproximadamente 53 milhões de habitantes (IBGE 2011; Santos et al., 2014). Assim, a inserção de plantas tolerantes à salinidade é imprescindível para manter a produtividade nestas áreas. A planta do noni aclimata-se às mais diversas condições ambientais, incluindo altos níveis de sais no solo (Nelson e Elevitch, 2006). Além disso, em condições favoráveis, a planta produz frutos com cerca de nove meses a



um ano após o plantio mantendo a produção quase o ano inteiro (Chan-Blanco et al., 2006). Assim, torna-se interessante aos pequenos produtores por não interromper a produção durante alguns meses. Neste aspecto, o noni (*Morinda citrifolia*) surge como uma opção interessante de cultivo a ser introduzida nessas áreas pela suas peculiaridades.

O noni é uma planta exótica no Brasil, pertencente a família das *Rubiaceae*, é uma frutífera com valor medicinal e nutricional que está sendo cultivada no Brasil nos Estados do Acre, São Paulo, Pará, Sergipe e Ceará (Correia, 2010). A planta vem sendo utilizada a milhares de anos pelos povos Polinésios no combate a diversas enfermidades. As sementes, casca e polpa possuem quantidades significativas de carboidratos, proteínas, vitamina C, carotenóides totais e compostos fenólicos totais que apresentam atividade antioxidante *in vitro* (Costa et al., 2013).

A salinidade afeta o desenvolvimento da planta por induzir estresse osmótico e iônico (Munns e Tester 2008). No entanto, as plantas podem desenvolver mecanismos para sobreviver a essas condições. O  $\text{Na}^+$  e o  $\text{Cl}^-$  são os principais íons encontrados em solos salinos. Esses sais quando absorvidos e acumulados pelas plantas podem contribuir no ajuste osmótico ou serem tóxicos, entretanto as quantidades de sais e a capacidade da planta de desenvolver mecanismos de tolerância à salinidade determinam a produtividade da cultura. Assim, conhecer o limite e os mecanismos de tolerância das plantas à salinidade é fundamental para a introdução da cultura em áreas afetadas por sais. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da salinidade no crescimento e acúmulo de solutos inorgânicos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ ) nos diferentes órgãos da planta de noni, visando conhecer o nível de tolerância ao estresse salino.

## 2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido do Núcleo de Engenharia Água e Solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA (12°40'19"S, 39° 6'23"W). Os valores médios de temperatura, umidade relativa do ar e radiação fotossinteticamente ativa (ao meio dia) foram, respectivamente, 25 °C, 81% e 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Para a retirada de sementes, frutos de noni maduros foram selecionados de plantas priorizando as características de sanidade e porte das plantas. Após a

retirada das sementes, a quebra de dormência foi realizada imergindo as sementes por 48 horas em água (Leite et al., 2012). Após 50 dias da semeadura, as plântulas com duas folhas cotiledonares foram transferidas para copos descartáveis de 500 mL preenchido com uma mistura de Latossolo Vermelho Amarelo e húmus (1:1) sendo irrigado diariamente com água de poço e semanalmente com 50 mL de solução nutritiva (Furlani, 1998).

Foram utilizadas mudas de noni com três meses de idade e quatro pares de folhas. As mudas foram transferidas para recipientes contendo 12 L de solução nutritiva de Furlani (1998), em sistema hidropônico *floating*, onde permaneceram por quatro dias para efeito de aclimação. Após este período as mudas foram submetidas a cinco tratamentos, constituídos pela adição de 0, 25, 50, 75 ou 100 mM de NaCl na solução nutritiva. O NaCl foi adicionado gradualmente (25 mM de NaCl dia<sup>-1</sup>), a fim evitar o choque osmótico. O volume das soluções foi completado com água diariamente e a renovação foi realizada a cada sete dias. O pH foi mantido em 6,0 ± 0,2 com o uso de NaOH ou HCl. O sistema foi mantido sob aeração intermitente de 15 minutos a cada hora, por meio de compressor de ar acoplado a um temporizador.

No final do período experimental (40 dias), as plantas de todos os tratamentos foram cuidadosamente retiradas da solução nutritiva, as raízes foram lavadas com água destilada e as plantas foram divididas em diferentes órgãos para determinação das massas fresca (MF) e seca (MS), bem como da área foliar (AF). A AF foi mensurada com um sistema de análise de imagem WinDIAS modelo W-C110-PC (Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK). As massas secas da folha (MSF), caule (MSC) e raízes (MSR) foram determinadas após a secagem das partes das plantas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 h. De posse dos dados foi calculada a razão massa seca da parte aérea/massa seca das raízes (PA/R). Com os valores de massa fresca das folhas (MFF), MSF e AF, foi calculada a suculência foliar e o índice de esclerofilia (IE), de acordo com as equações propostas por Benincasa (2003):

$$\text{Suculência} = (\text{MFF} - \text{MSF}) / \text{AF}$$

$$\text{IE} = \text{MSF} (\text{mg}) / \text{AF} (\text{cm}^2).$$

Para a determinação dos teores de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, os extratos foram preparados como descrito por Jones (2001), com pequenas modificações. Em tubos de ensaio, foram adicionados 100 mg do material triturado de folhas, caule ou raízes

e 10 mL de água deionizada. Os tubos foram mantidos a temperatura de 80 °C, em banho-maria, durante 1 hora, com agitação a cada 15 min. Após este período, os tubos foram centrifugados a 5.000 × g por 15 minutos, à temperatura ambiente. Os teores de Na<sup>+</sup> e o K<sup>+</sup> foram determinados por fotometria de chama (Faithfull, 2002) e os teores de Cl<sup>-</sup> por espectrofotometria (Jones. 2001).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com cinco níveis de salinidade (0, 25, 50 75 ou 100 mM de NaCl) e quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão, utilizando o software estatístico SISVAR 4.6 (Ferreira, 2011). Os modelos foram escolhidos em função de sua significância pelo teste F e pelo coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

### 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento das doses de NaCl na solução nutritiva proporcionou um decréscimo linear na altura, diâmetro do caule e número de folhas com redução de 0,225 cm, 0,041 mm e 0,255 por incremento unitário de mM de NaCl, respectivamente (Figura 2.1). Essa redução representa uma perda na altura, diâmetro do caule e número de folhas de 62, 35 e 62%, respectivamente. Dessa forma, entre as variáveis biométricas, o diâmetro do caule foi a variável menos afetada pela salinidade. Resultados semelhantes também foram reportados por Souto et al. (2013), em plantas de noni cultivada em solo quando irrigado com água salina. A redução na altura, diâmetro do caule e número de folhas afetou diretamente a produção de biomassa. Pesquisa com noni tem mostrado que alterações nas variáveis de crescimento causada pela salinidade afetam diretamente a produtividade da cultura (Souto et al., 2015; 2016).

Na Figura 2.2 são mostrados os resultados obtidos para a massa seca dos diferentes órgãos da planta de noni, razão parte aérea e raiz, área foliar, suculência foliar e índice de esclerofilia em função do aumento da salinidade na solução nutritiva. Nas variáveis MSF, MSC e MST observou-se resposta linear decrescente com redução de 0,146, 0,074 e 0,329 g, por incremento de mM de NaCl, portanto redução de 72, 49 e 68% na dose mais elevada, respectivamente. No entanto, para a relação parte aérea e raiz, suculência e IE, foi observada aumento de 0,0319 g g<sup>-1</sup>, 0,0823 mg H<sub>2</sub>O cm<sup>-2</sup> e 0,0202 mg de MS cm<sup>-2</sup> para cada incremento de salinidade,

ou seja, incremento de 117, 32 e 32% na dose de 100 mM de NaCl em relação as plantas controle.

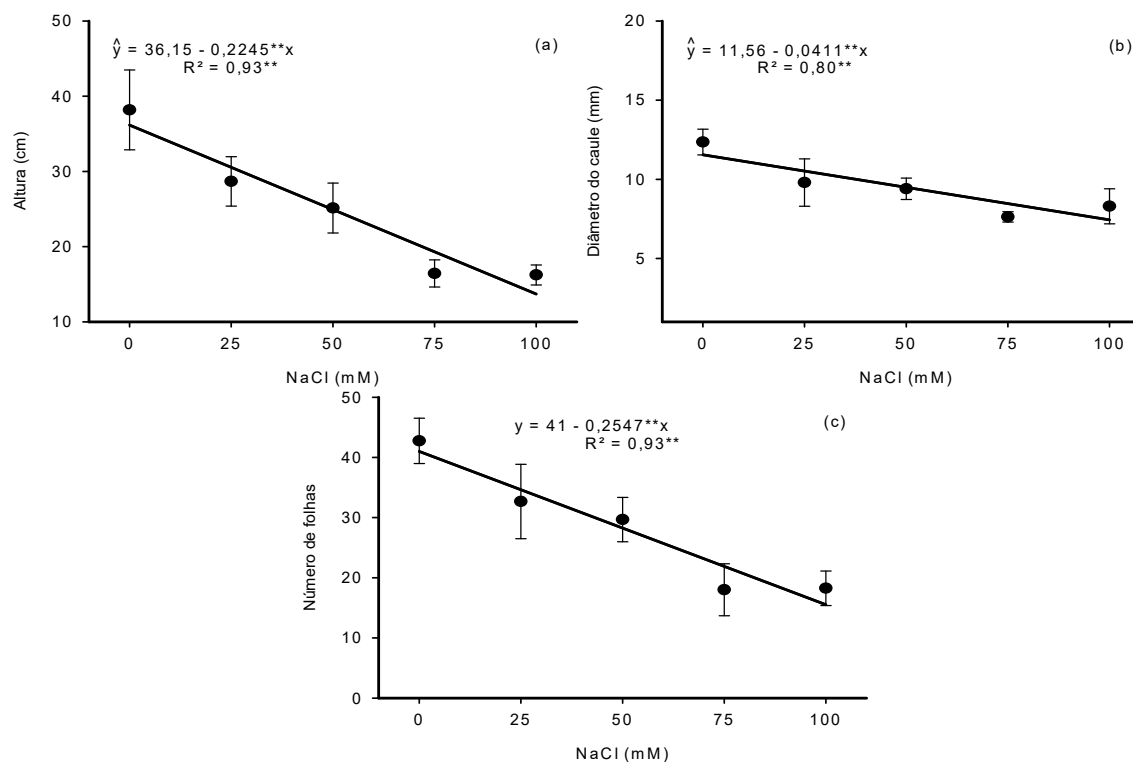


Figura 2.1. Altura da planta (a), diâmetro do caule (b) e número de folhas (c) de plantas de noni aos 40 dias após tratamentos em sistema hidropônico em função de doses de NaCl na solução nutritiva.

A MSR e AF seguiram um modelo de resposta polinomial quadrática, com reduções mais acentuadas (35 e 31%) na dose de 25 mM de NaCl e a partir desta dose houve tendência de estabilização da curva (Figura 2.2). Comparando-se as plantas controle com a dose máxima estimada de NaCl foram observadas reduções de 77 e 74% na MSR e AF, respectivamente. A redução na AF do noni pode reduzir a fotossíntese, absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, afetar o crescimento e a produção de biomassa (Souto et al., 2013).

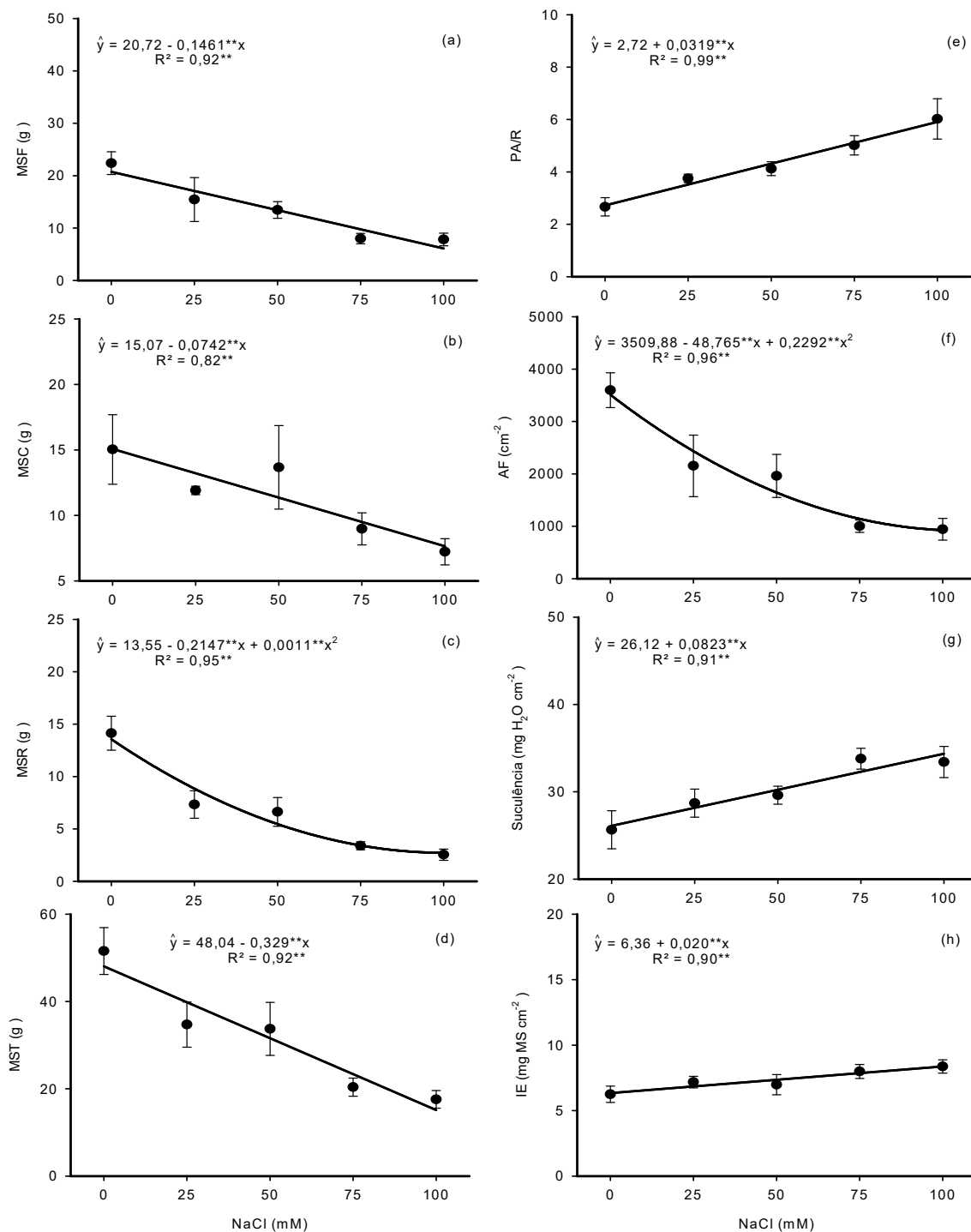


Figura 2.2. Massa seca da folha - MSF (a), caule - MFC (b), raiz - MSR (c) e total - MST (d), razão massa seca da parte aérea/raiz - PA/R (e), área foliar - AF (f), suculência foliar (g) e índice de esclerofilia – IE (h) em plantas de noni aos 40 dias após tratamentos em sistema hidropônico em função de doses de NaCl na solução nutritiva.

Comparando-se os diferentes órgãos da planta, a raiz foi o órgão que apresentou a maior redução de massa seca induzida pelo estresse salino. Assim, pode-se inferir que a raiz é órgão mais sensível aos efeitos deletérios da salinidade em plantas de noni. Rodrigues et al. (2014), observaram redução de 52% nas raízes de *R. communis* sendo o órgão mais afetado na dose de 150 mM de NaCl na solução nutritiva quando comparada às plantas controle. Embora Abreu et al. (2008), tenham sugerido que as raízes apresentam maior capacidade de ajuste osmótico e melhor proteção ao estresse oxidativo sob condições de estresse salino, esta redução no crescimento pode ser consequência da raiz ser o primeiro órgão diretamente exposto ao estresse salino (Azevedo Neto et al., 2006).

A maior sensibilidade das raízes ao estresse salino, em comparação a parte aérea, levou a um aumento linear da razão PA/R, a qual variou de 2,72 g g<sup>-1</sup> no controle a 5,91 g g<sup>-1</sup> no tratamento de 100 mM de NaCl. Segundo Marana et al. (2008), em mudas de café, planta da mesma família do noni, valores entre 4,7 e 7 são considerados satisfatórios para manutenção do desenvolvimento da planta em cultivo em solo.

As plantas quando submetidas a estresses abióticos, inclusive salinidade, podem desenvolver mecanismos para sobreviver às condições do ambiente, entre eles o aumento da succulência foliar, que representa a quantidade de água por unidade de AF. O aumento da succulência observado neste trabalho sugere um aumento na espessura das folhas do noni, tanto para armazenamento de água como para diluição dos íons tóxicos Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>. Essa característica também pode ser importante para a economia de água pela transpiração. Segundo Oliveira et al. (2012), sob condições salinas as folhas podem apresentar-se mais espessas, com mais estratos de tecido fotossintetizante ou de armazenamento de água.

Reduções nas variáveis de crescimento do noni cultivado em solo, com diferentes níveis de salinidade na água de irrigação foram recentemente reportados na literatura (Souto et al., 2013; Souza et al., 2014; Souto et al., 2015). Estes autores atribuíram os resultados ao aumento da salinidade no solo, que afeta a absorção de água, o acúmulo de íons tóxicos e diminui a concentração dos pigmentos fotossintéticos. O acúmulo dos íons tóxicos Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nos diferentes órgãos da planta, o desequilíbrio nutricional e/ou o déficit hídrico induzido pela salinidade

podem afetar o crescimento da planta (Munns et al., 2006; Munns e Tester, 2008; Bosco et al., 2009).

Na Figura 2.3 são apresentados os teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas, caules e raízes das plantas de noni, em função das doses de NaCl aplicadas na solução nutritiva. Pode-se observar que os teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  aumentaram quadraticamente nos diferentes órgãos da planta com o incremento do NaCl na solução nutritiva, exceto para os teores de  $\text{Cl}^-$  nas raízes que apresentaram um modelo linear crescente. Os teores estimados na 100 mM de NaCl de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas foram 1,81 e 1,17  $\text{mmol g}^{-1}$  ms, no caule 0,80 e 0,75  $\text{mmol g}^{-1}$  ms e nas raízes 0,59 e 0,75  $\text{mmol g}^{-1}$  ms, respectivamente. Comparando-se o acúmulo dos teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas com os demais órgãos observa-se que os teores de  $\text{Na}^+$  nas folhas foram 2,3 e 3,1 vezes maiores que no caule e raízes, respectivamente. Para o  $\text{Cl}^-$  os teores nas folhas foram 1,6 vezes maiores que os do caule e raízes.

O elevado teor de  $\text{Na}^+$  no tecido foliar pode afetar processos fisiológicos e bioquímicos como abertura estomática, respiração e síntese de proteínas, consequentemente afetando a fotossíntese, o crescimento e a produtividade das culturas (Apse e Blumwald, 2007; Tavakkoli et al., 2010; Furtado et al., 2013). Dessa forma, dentre as características das plantas tolerantes aos sais, a considerada mais importante é a capacidade de restringir o transporte e acúmulo de íons tóxicos nas folhas (Munns e Tester, 2008).

O cloreto em altas concentrações pode reduzir a capacidade fotossintética e o rendimento quântico devido à degradação da clorofila (Tavakkoli et al., 2010). Em contrapartida, Rodrigues et al. (2014), relataram que o acúmulo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas folhas de *Ricinus communis* desempenhou um papel importante no ajuste osmótico.

Considerando que o maior acúmulo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  foi observado nas folhas, os resultados obtidos neste trabalho indicam que as plantas de noni não apresentam mecanismos de exclusão desses íons nos órgãos metabolicamente menos ativos como caule e raízes.

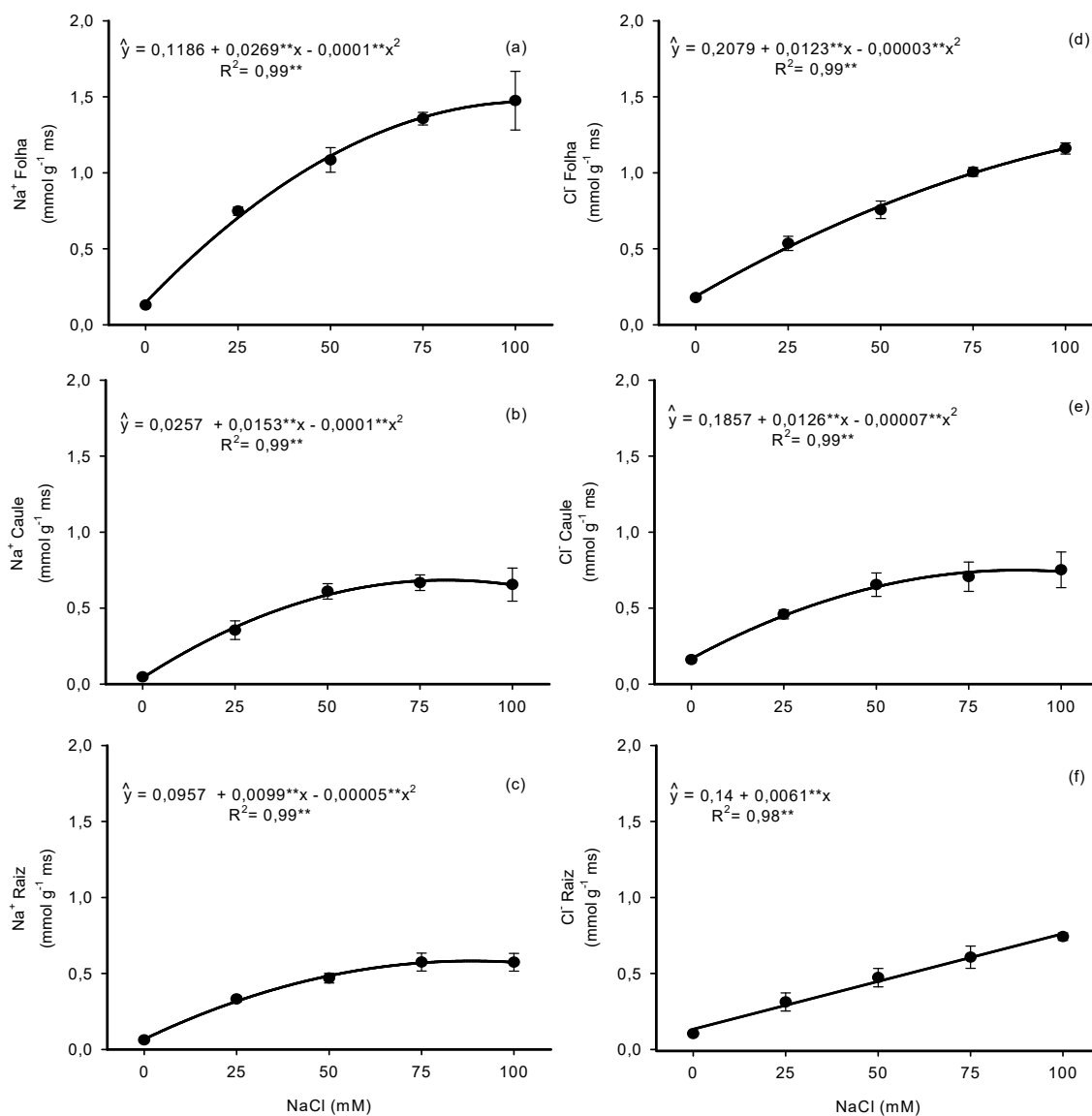


Figura 2.3. Teores de Na<sup>+</sup> (a, b, c) e Cl<sup>-</sup> (d, e, f) nas folhas, caule e raízes de noni aos 40 dias após tratamentos em sistema hidropônico em função de doses de NaCl na solução nutritiva.

Segundo Taiz e Zeiger (2013), valores acima de 100 mM de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> tornam-se citotóxicos, causando desnaturação das proteínas e desestabilização das membranas. A partir dos dados de MFF e MSF do noni, as concentrações estimadas de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> na água da folha foram, respectivamente, 188 e 134 mM no nível mais baixo de salinidade (25 mM de NaCl). Estes valores são semelhantes aos reportados por Azevedo Neto e Tabosa (2000) nas folhas de plantas milho cultivadas em solução nutritiva com 100 mM de NaCl. Esses autores atribuíram a



necessidade de compartimentalização iônica e acumulação citoplasmática de solutos compatíveis para redução da toxicidade iônica. Dessa forma, a redução no crescimento observada no noni pode, pelo menos em parte, estar relacionada aos efeitos tóxicos do acúmulo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . Entretanto, como as doses utilizadas não foram letais nem causaram senescência precoce das folhas, os dados deste trabalho também sugerem que o noni apresentou mecanismo de compartimentalização de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  a partir do nível mais baixo de salinidade.

Os teores de  $\text{K}^+$  e a relação  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  nas folhas, caules e raízes das plantas de noni em função de doses de NaCl aplicada na solução nutritiva são apresentados na Figura 2.4. Os teores de  $\text{K}^+$  nos órgãos da planta decresceram com o incremento de NaCl na solução nutritiva, apresentando ajuste de modelo de regressão exponencial nas folhas, quadrático no caule e linear nas raízes, representando reduções de 65, 59 e 41%, respectivamente, no tratamento de 100 mM de NaCl.

Segundo Bosco et al. (2009), altas concentrações de  $\text{Na}^+$  podem reduzir a absorção de  $\text{K}^+$  nas plantas. Diversos fatores podem afetar a absorção deste íon sob condições salinas. Dentre eles destacam-se o antagonismo entre  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , competição entre esses íons pelos sítios de absorção no plasmalema e distúrbios na integridade da membrana (Apse e Blumwald, 2007). Estes resultados corroboram com Rodrigues et al. (2014), que verificaram aumento do teor de  $\text{Na}^+$  e diminuição do teor de  $\text{K}^+$  nos diferentes órgãos de mamona submetidas a níveis crescentes de salinidade na solução nutritiva, com conseqüente redução da fotossíntese e da massa seca nos diferentes órgãos da planta e aumento da razão PA/R.

A razão  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  tem-se mostrado como importante variável no estudo nutricional das plantas sob condições salinas (Bosco et al., 2009). No presente estudo, razão  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  diminuiu exponencialmente em todos os órgãos da planta com o aumento da salinidade (Figura 2.4). Assim, a razão  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  nas folhas, caule e raízes diminuiu 96, 97 e 93%, respectivamente, na dose de 100 mM de NaCl. A redução abrupta da razão  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  nas plantas de noni foi decorrente do aumento da absorção de  $\text{Na}^+$  associada à diminuição da absorção de  $\text{K}^+$ .

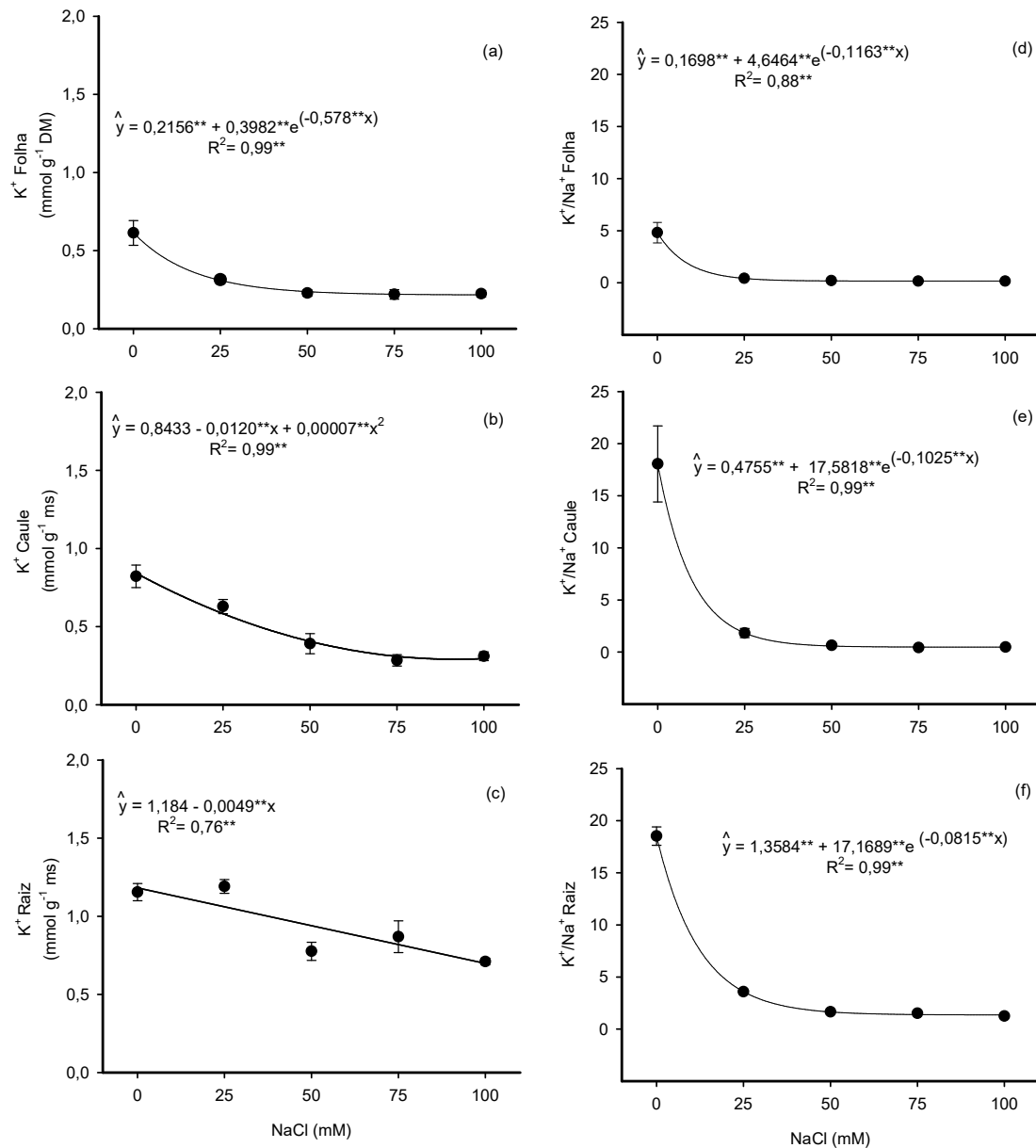


Figura 2.4. Teor de potássio (a, b, c) e razão K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> (d, e, f) nas folhas caule e raízes de noni aos 40 dias após tratamentos em sistema hidropônico em função de doses de NaCl na solução nutritiva.

Diversos trabalhos têm mostrado que, sob condições salinas, diversas culturas tem alterado a relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> provocando desequilíbrio nutricional nas plantas decorrente do antagonismo entre esses elementos (SILVA et al., 2008; BOSCO et al., 2009). Segundo Greenway e Munns (1989), a relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> em glicófitas deve ser superior a 1,0 para a manutenção da homeostase iônica e uma ótima eficiência metabólica. Dessa forma, com base na equação da relação K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>

nas folhas do noni, a dose máxima seria de 15 mM de NaCl para manutenção de uma relação adequada ao metabolismo das plantas de noni.

## 2.4. CONCLUSÕES

1. A salinidade afeta negativamente a produção de biomassa do noni, sendo a raiz o principal órgão afetado pelo estresse em mudas;
2. A salinidade reduz a área foliar e aumenta o índice de esclerofilia como mecanismo de tolerância à salinidade;
3. O noni não apresenta mecanismos de restrição ao transporte de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  para as folhas, as quais apresentam as maiores concentrações destes íons, entretanto apresenta compartimentalização de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , como mecanismo de tolerância à salinidade;
4. O aumento da salinidade até a dose de 100 mM causa alterações na homeostase iônica das plantas de noni o que pode, ao menos em parte, explicar a redução do crescimento induzida pelo sal.

## 2.5. REFERÊNCIAS

Abreu CEB, Prisco JT, Nogueira ARC, Bezerra MA, Lacerda, CF, Gomes-Filho, E (2008). Physiological and biochemical changes occurring in dwarf-cashew seedlings subjected to salt stress. *Braz. J. Plant Physiol.* 20(2):105-118.

Apse MP, Blumwald E (2007).  $\text{Na}^+$  transport in plants. *FEBS Letters.* 581(1):2247-2254.

Azevedo Neto AD, Prisco JT, Enéas-Filho J, Abreu CEB, Gomes-Filho E (2006). Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environ. Exp. Bot.* 56(1):87-94.

Azevedo Neto AD, Tabosa JN (2000). Salt stress in maize seedlings: part ii distribution of cationic macronutrients and its relation with sodium. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.* 4(2):165-171.

Benincasa MMP (2003). Análise de crescimento de plantas: noções básicas. 2.ed. Jaboticabal: Funep. Brazil 41 p.

Bosco MRO, Oliveira AB, Hernandez FFF, Lacerda CL (2009). Influence of salt stress on the mineral composition of eggplant seedlings. Rev. Ciênc. Agron. 40(2):157-164.

Chan-Blanco Y, Vaillant F, Perez AM, Reynes M, Brillouet J-M, Brat P (2006). The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): A review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. J. Food Compos. Anal. 19(1):645-654.

Correia AAS (2010). Maceração enzimática da polpa de noni (*Morinda citrifolia* L.), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brazil 106 p.

Costa AB, Oliveira AMC, Silva AMO, Macini-Filho J, Lima A (2013). Atividade antioxidante da polpa, casca e sementes do noni (*Morinda citrifolia* Linn). Rev. Bras. Frutic. 35(2):345-354.

Faithfull NT (2002). Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook. Wallingford: CABI Publishing 266 p.

Ferreira DF (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciênc. Agrotec. 35(6):1039-1042.

Furlani PR (1998). Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pela técnica de hidroponia - NFT. Campinas: Instituto Agrônômico, (Boletim Técnico, 168).

Furtado GF, Soares LAA, Sousa JRM, Andrade EMG, Guerra HOC (2013). Physiological changes in cowpea under saline water and nitrogen fertilization. Rev. Verde Agroecologia Desenvol. Sustent. 8(3):175-181.

Greenway H, Munns R (1989). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. Annu. Rev. Plant. Physiol. 31(1):149-190.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2011). Censo Demográfico. 2010. Rio de Janeiro: IBGE.

Jones JB (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Boca Raton: CRC. Press pp. 205-206.

Leite GA, Cunha PSCF, Mendonça LFM, Medeiros PVQ, Mendonça V (2012). Superação de dormência de sementes de noni. Rev. Verde Agroecologia e Desenvol. Sustent. 7(4):120-128.

Marana JP, Miglioranza E, Fonseca EP, Kainuma HK (2008). Seedling quality in coffee grown in containers. Cienc. Rural. 38(1):39-45.

Munns R, James RA, Lauchli A (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J. Exp. Bot. 57(5):1025-1043.

Munns R, Tester M (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant. Biol. 59(1):651 -681.

Nelson SC, Elevitch CR. (2006) Workshop manual to supplement Noni: The complete guide for consumers and growers for noni processing, marketing and field training Workshop for YAP. Permanent Agriculture Resources, Holualoa, Hawaii 18p.

Oliveira FA, Medeiros JF, Oliveira FRA, Oliveira MKT, Freire AG (2012). Sensibility of cotton crops to mepiquat chloride under saline conditions. Rev. Ciênc. Agron. 43(3):484-492.

Rodrigues CRF, Silva EN, Moura RM, Anjos DC, Hernandez FFF, Viégas RA (2014). Physiological adjustment to salt stress in *R. communis* seedlings is associated with a probable mechanism of osmotic adjustment and a reduction in water lost by transpiration. Ind.Crops Prod. 54(1):233-239.

Santos APS, Perez-Marin AM, Forero LFU, Moreira JM, Medeiros AML, Lima RCSA, Bezerra HA, Bezerra BG, Silva LL (2014). O Semiárido brasileiro riquezas,

diversidades e saberes. Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Brazil  
<http://www.insa.gov.br/wpcontent/uploads/2014/08/Cartilha-semi%C3%A1rido-inal.pdf>

Silva EC, Nogueira RJMC, Araújo FP, Melo NF, Azevedo Neto AD (2008). Physiological responses to salt stress in young umbu plants. *Environ. Exp. Bot.* 63(1):147-157.

Souto AGL, Cavalcante LF, Lima Neto AJ, Mesquita FO, Santos JB (2016). Biometrics in noni plants under irrigation with saline water and the leaching of salts from the soil. *Rev. Ciênc. Agon.* 47(2):316-324.

Souto AGL, Cavalcante LF, Diniz BLMT, Mesquita FO, Nascimento JAM, Lima Neto AJ (2015). Saline water and bovine biofertilizer on yield and biomass allocation in noni plant (*Morinda citrifolia* L.). *Rev. Bras. Pl. Med.* 17(2):340-348.

Souto AGL, Cavalcante LF, Nascimento JAM, Mesquita FO, Lima Neto AJ (2013). Behavior of noni plants (*Morinda citrifolia* L.) to salinity of irrigation water in soil with bovine biofertilizer. *Rev. Irriga.* 18(3):442-453.

Souza MCMR, Lacerda CF, Amorim, AV, Menezes, AS (2014). Influence of organic matter and the environment in growth and in solute accumulation in *Morinda citrifolia* submitted to salinity. *Rev. Bras. Frutic.* 36(3):704-712.

Tavakkoli E, Rengasamy P, McDonald GK (2010). High concentrations of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *J. Exp. Bot.* 61(15):4449-4459.

Taiz L, Zeiger E (2013). *Fisiologia vegetal*. Artmed, Porto Alegre, BR 918 p.

## CAPÍTULO 3

### **O estresse salino afeta o crescimento e o equilíbrio entre compostos orgânicos e inorgânicos em noni (*Morinda citrifolia* L.)**

(Cópia do trabalho enviado para a revista Semina: Ciências Agrárias, obedecendo às normas deste periódico, excetuando-se a numeração da tabela e das figuras e formatação de páginas)

|   |    |
|---|----|
| Resumo .....                                      | 56 |
| Abstract .....                                    | 57 |
| 3.1. INTRODUÇÃO .....                             | 58 |
| 3.2. MATERIAL E MÉTODOS .....                     | 59 |
| 3.2.1. Condições experimentais e tratamentos..... | 59 |
| 3.2.2. Crescimento .....                          | 60 |
| 3.2.3. Análise de solutos inorgânicos .....       | 60 |
| 3.2.4. Análise de solutos orgânicos .....         | 60 |
| 3.2.5. Análise estatística.....                   | 61 |
| 3.3. RESULTADOS .....                             | 61 |
| 3.4. DISCUSSÃO .....                              | 68 |
| 3.5. CONCLUSÕES .....                             | 73 |
| 3.6. AGRADECIMENTOS.....                          | 74 |
| 3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....             | 74 |

**O estresse salino afeta o crescimento e o equilíbrio entre compostos orgânicos e inorgânicos em noni (*Morinda citrifolia* L.)**

**Salt stress affects the growth and the balance between organic and inorganic compounds in noni (*Morinda citrifolia* L.)**

Alide Mitsue Watanabe Cova<sup>1</sup>; André Dias de Azevedo Neto<sup>2</sup>; Rogério Ferreira Ribas<sup>1</sup>; Hans Raj Gheyi<sup>1</sup> e Renata Velasques Menezes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 44380, Bahia, Brasil.

<sup>2</sup> Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, 44380 Bahia, Brasil.

**Resumo**

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais afeta a produção agrícola, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, no entanto, entre as espécies existem grandes diferenças na tolerância ao estresse salino. No presente estudo, os efeitos da salinidade sobre o crescimento da planta e a acumulação de solutos orgânicos e inorgânicos foram avaliados em mudas de noni aos 1, 10, 20, 30 e 40 dias de estresse salino em delineamento experimental 5 x 2, com quatro repetições. As mudas foram cultivadas na ausência e presença de NaCl (0 ou 100 mM). Foram determinados os parâmetros biométricos e as massas secas das folhas, dos caules e das raízes, a partição de biomassa e os teores de solutos orgânicos e inorgânicos nos diferentes órgãos da planta. A salinidade reduziu todas as variáveis de crescimento, sendo o efeito menos expressivo no diâmetro do caule. A partição de biomassa nas folhas foi maior que nas raízes, independentemente do tratamento ou do tempo de exposição. Os teores de solutos orgânicos e inorgânicos variaram conforme o órgão analisado e o tempo de exposição à salinidade. De um modo geral, a salinidade aumentou os teores de Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e reduziram os de K<sup>+</sup>, N e P. A salinidade também diminuiu os teores de carboidratos solúveis e aminoácidos livres nas raízes e aumentou os teores de prolina nas folhas e raízes. Os teores de prolina nas folhas foram, em média, 17 e 6 vezes mais elevados que nas raízes das plantas



controle e estressadas, respectivamente. Quantitativamente, a prolina não contribui substancialmente para o potencial osmótico do noni, entretanto o seu aumento sugere que este soluto desempenha um papel na aclimação ao estresse salino e/ou é um indicador dos distúrbios metabólicos induzidos pela salinidade.

**Palavras-chave:** Aminoácidos, carboidratos, íons tóxicos, prolina, proteínas

### **Abstract**

Salinity is one of the abiotic stresses which most affect agricultural production, especially in arid and semi-arid regions, however, among species there are large differences in salt tolerance. In this study, the effects of salinity on the growth and accumulation of organic and inorganic solutes were evaluated in 'noni' seedlings at 1, 10, 20, 30 and 40 days of salt stress in a 5 x 2 completely randomized experimental design. Seedlings of 'noni' were grown in two salinity levels in the nutrient solution (0 or 100 mM NaCl). Plant height, leaf number, stem diameter and dry mass of leaves, stems and roots, the allocation of biomass and the contents of organic and inorganic solutes were determined in the different plant organs. Salinity reduced all growth variables, being less expressive in stem diameter. The biomass allocation in leaves was higher than in roots, regardless of treatment or time considered. Organic and inorganic solutes content varied according to the analyzed part of the plant and the time of exposure to salinity. In general, the salinity increased content of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and reduced  $\text{K}^+$ , N and P. The salinity also decreased soluble carbohydrates and free amino acids in roots and increased proline content in leaves and roots. The proline content in leaves were, on average, 17 and 6 times higher than in roots of plants under control and stressed conditions, respectively. Quantitatively, proline does not contribute substantially to the osmotic potential of noni to osmotic adjustment of noni, however its increase suggests that the solute plays a role in the salt stress acclimation or is an indicator of salt-induced metabolic disorders.

**Key words:** Amino acids, carbohydrates, toxic ions, proline, proteins

### 3.1. INTRODUÇÃO

As plantas medicinais são utilizadas desde a antiguidade pela população no combate a diversas enfermidades. Entre as diferentes espécies, o noni (*Morinda citrifolia* L.) pertencente a família das *Rubiaceae* tem-se destacado pelas suas propriedades fitoterapêuticas. A planta é uma frutífera com valor medicinal e nutricional, sendo utilizada há mais de 2000 anos pelos povos polinésios (CHAN-BLANCO et al., 2006). Nas sementes, casca e polpa do noni foram encontradas quantidades significativas de carboidratos, proteínas, vitamina C, carotenóides totais e compostos fenólicos totais (COSTA et al., 2013). Além disso, a planta aclimata-se às mais diversas situações climáticas, solos e sob estresses ambientais, incluindo altos níveis de sais no solo (MIAN-YING et al., 2002).

A salinidade é um dos estresses abiótico que mais afeta a produção agrícola, principalmente nas regiões áridas e semiáridas. Nestas regiões, as condições edafoclimáticas e o manejo inadequado do solo e água favorecem o processo de salinização. Entretanto, essas áreas podem ser viabilizadas com o cultivo de plantas mais tolerantes aos sais e o noni pode ser uma alternativa de renda para os produtores.

O cloreto de sódio é um dos principais sais nas áreas afetadas pela salinidade. Os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  quando absorvido em excesso são tóxicos à maioria das glicófitas, no entanto a planta pode apresentar mecanismos para sobreviver a determinadas concentrações de sais no solo (MUNNS; TESTER, 2008). Assim, entre as espécies existem grandes diferenças na tolerância ao estresse salino (SEVERIANO et al., 2014).

As plantas quando cultivadas em ambiente salino podem compartimentalizar íons  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$  no vacúolo e acumular solutos orgânicos compatíveis no citoplasma para manter a homeostase osmótica celular (QUÉRO et al., 2013).

Os solutos compatíveis mais estudados em plantas sob estresse salino são os carboidratos solúveis, aminoácidos livres, proteínas solúveis e prolina livre (AZEVEDO NETO et al., 2004; 2009; SACRAMENTO et al., 2014; SILVA et al., 2008), pois constituem os de maior contribuição para o potencial osmótico. Entre os solutos compatíveis, a acumulação de prolina tem sido considerada como um dos mecanismos adaptativos para minimizar os efeitos adversos da salinidade (IQBAL et

al., 2014). Em noni, o acúmulo de prolina tem-se mostrado como um sinalizador de danos causado pelo estresse salino (SOUZA et al., 2014).

O acúmulo de solutos orgânicos tem sido observado como um dos mecanismos de tolerância das plantas ao estresse salino. Assim, na seleção de plantas tolerantes à salinidade, o acúmulo desses compostos vem sendo proposto como marcador fisiológico (AZEVEDO NETO et al., 2004, 2009).

O conhecimento sobre o acúmulo e a compartimentalização dos solutos orgânicos e inorgânicos, nos diferentes órgãos, em plantas de noni sob estresse salino pode ajudar na compreensão dos mecanismos fisiobioquímicos da tolerância à salinidade. Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento e o acúmulo dos solutos orgânicos e inorgânicos nas mudas de noni sob estresse salino.

## **3.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1. Condições experimentais e tratamentos**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado usando o esquema fatorial 5 tempos (1, 10, 20, 30 e 40 dias após o transplante) x 2 níveis de salinidade na solução nutritiva (0 e 100 mM NaCl), com quatro repetições. Foram selecionadas mudas de noni com três meses de idade e quatro pares de folhas. As mudas foram transferidas para recipientes contendo 12 L de solução nutritiva de Furlani (1998), em sistema hidropônico *Floating* com aeração. As mudas de noni permaneceram em solução nutritiva por quatro dias para efeito de aclimação. Após este período, as mudas passaram a receber os respectivos tratamentos (solução nutritiva sem NaCl - controle ou solução nutritiva contendo 100 mM de NaCl - estresse salino). O NaCl foi adicionado gradualmente (25 mM de NaCl dia<sup>-1</sup>), a fim de diminuir as mudanças bruscas no potencial osmótico. O volume da solução nutritiva foi completado diariamente com água ao final da tarde e a solução foi trocada a cada sete dias. O pH foi avaliado a cada dois dias e ajustado para 6,0 quando necessário com o uso de NaOH ou HCl. O sistema foi mantido sob aeração intermitente, de 15 minutos a cada hora, por meio de compressor de ar acoplado a um temporizador.

### 3.2.2. Crescimento

No final de cada período, as plantas de todos os tratamentos foram cuidadosamente retiradas da solução nutritiva, as raízes foram lavadas com água destilada e as plantas foram divididas em folhas e caules. Após secagem a 65 °C em estufa por 72 h, as massas secas do caule (MSC), folha (MSF) e raiz (MSR) foram determinadas. A partir destes dados, foi calculada a massa seca total das plantas (MST). Esses dados foram utilizados para calcular a partição de biomassa para as folhas (PBF), caule (PBC) e raízes (PBR), segundo a fórmula:

$$\text{Partição de biomassa órgão (\%)} = (\text{MSórgão}/\text{MStotal}) \times 100$$

### 3.2.3. Análise de solutos inorgânicos

As plantas foram separadas em folhas, caules e raízes que após a secagem foram trituradas para a determinação dos teores de solutos inorgânicos. Para a determinação dos teores de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, os extratos foram preparados como descrito por Jones (2001), com pequenas modificações. Em tubos de ensaio, foram adicionados 100 mg do material triturado de folhas, caule ou raízes e 10 mL de água deionizada. Os tubos foram mantidos a temperatura de 80 °C, em banho-maria, durante 01h00, com agitação a cada 00h15. Após este período, os tubos foram centrifugados a 5.000 × g durante 00h15, à temperatura ambiente. No extrato foram determinados os teores de Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> por fotometria de chama (FAITHFULL, 2002) e os de Cl<sup>-</sup> por espectrofotometria (Jones, 2001).

Para a determinação dos teores de N e P, foram elaborados extratos a partir de 0,5 g de material vegetal seco e triturado em moinho pela digestão ácida das amostras utilizando uma mistura de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (conc) e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 30%, conforme descrito por Jones (2001). O material após a digestão foi diluído em 50 mL com água desionizada. O N e o P foram determinados pelos métodos espectrofotométricos do fenol-hipoclorito e do molibdo-vanadato, respectivamente (FAITHFULL, 2002).

### 3.2.4. Análise de solutos orgânicos

Foram realizadas análises dos solutos orgânicos no primeiro par de folhas totalmente expandidas e nas amostras do terço inferior das raízes. As folhas foram

coletadas, imediatamente congeladas, liofilizadas, trituradas e armazenadas em ultrafreezer (-80 °C). Para as determinações de solutos orgânicos, o extrato foi obtido macerando-se, em almofariz, 200 mg de tecidos liofilizados de folhas e raízes, com 6 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M, pH 7,0, contendo EDTA 0,1 mM. O extrato foi filtrado em tecido de náilon de malha fina e centrifugado a 12000 × g por 15 min. O sobrenadante foi armazenado em ultrafreezer e utilizado para as determinações de carboidratos solúveis, prolina livre, aminoácidos livres e proteínas solúveis.

O teor de carboidratos solúveis foi determinado por espectrofotometria a 490 nm pelo método do fenol-ácido sulfúrico, utilizando-se a D-(+)-glucose como padrão (DUBOIS et al., 1956). A prolina livre foi determinada por espectrofotometria a 520 nm, utilizando-se a ninhidrina como reagente específico e a prolina pura como padrão (BATES et al., 1973). Os aminoácidos livres totais foram determinados por espectrofotometria a 570 nm pelo método da ninhidrina, utilizando-se a L-leucina pura como padrão (YEMM; COCKING, 1955). As proteínas solúveis foram determinadas por espectrofotometria a 595 nm pelo método de ligação ao corante, utilizando-se como padrão a albumina de soro bovino (BRADFORD, 1976).

### 3.2.5. Análise estatística

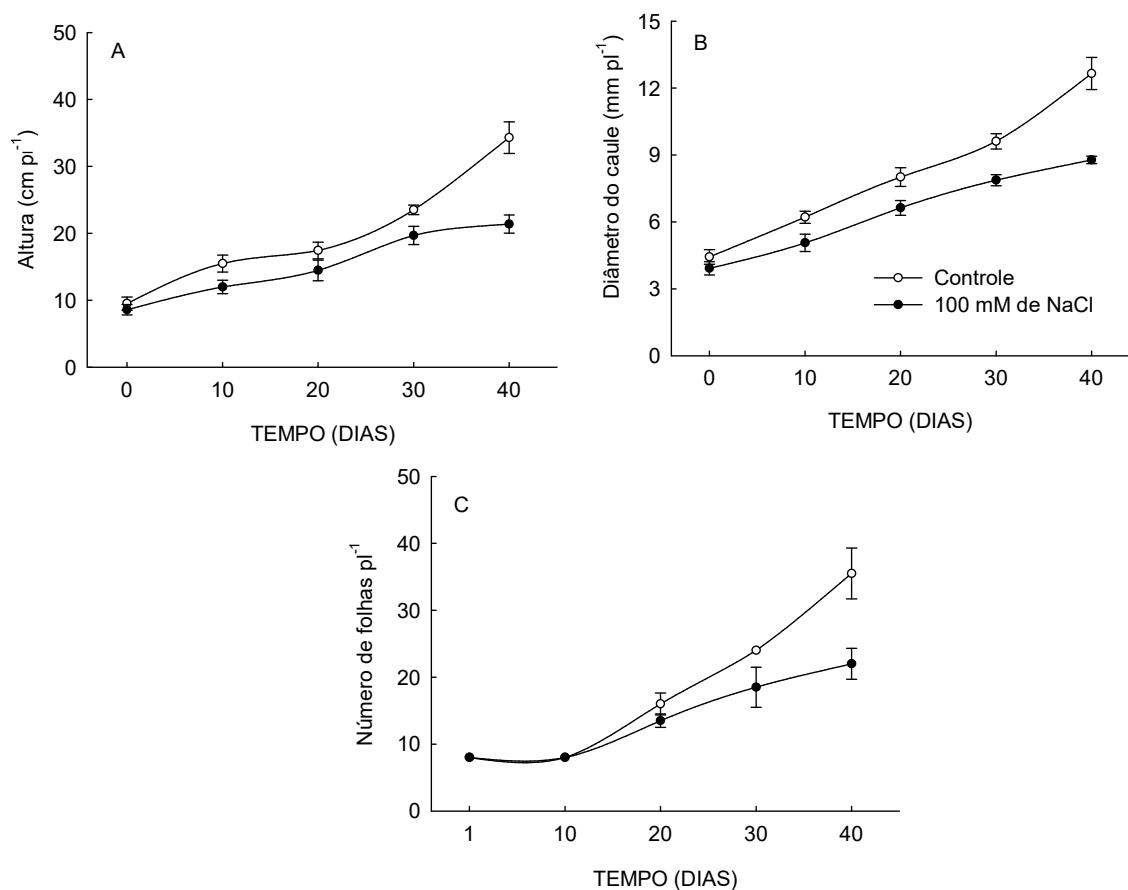
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias comparadas através de seus respectivos desvios padrões conforme Snedecor (1956).

## 3.3. RESULTADOS

A altura das plantas (Figura 3.1A), o diâmetro do caule (Figura 3.1B) e o número de folhas (Figura 3.1C) aumentaram nas plantas de ambos os tratamentos, durante todo o período experimental. No entanto, pode-se verificar que, em todas as variáveis, este aumento foi mais evidente nas plantas controle (sem NaCl) do que nas de estresse salino. Comparando os tratamentos observa-se que a salinidade reduziu a altura e o diâmetro do caule a partir dos 10 dias e o número de folhas a partir dos 30 dias. Também pode ser observado nessa figura que essas reduções

foram mais pronunciadas aos 40 dias de estresse, da ordem de 31% para o diâmetro do caule e 38% para a altura e o número de folhas.

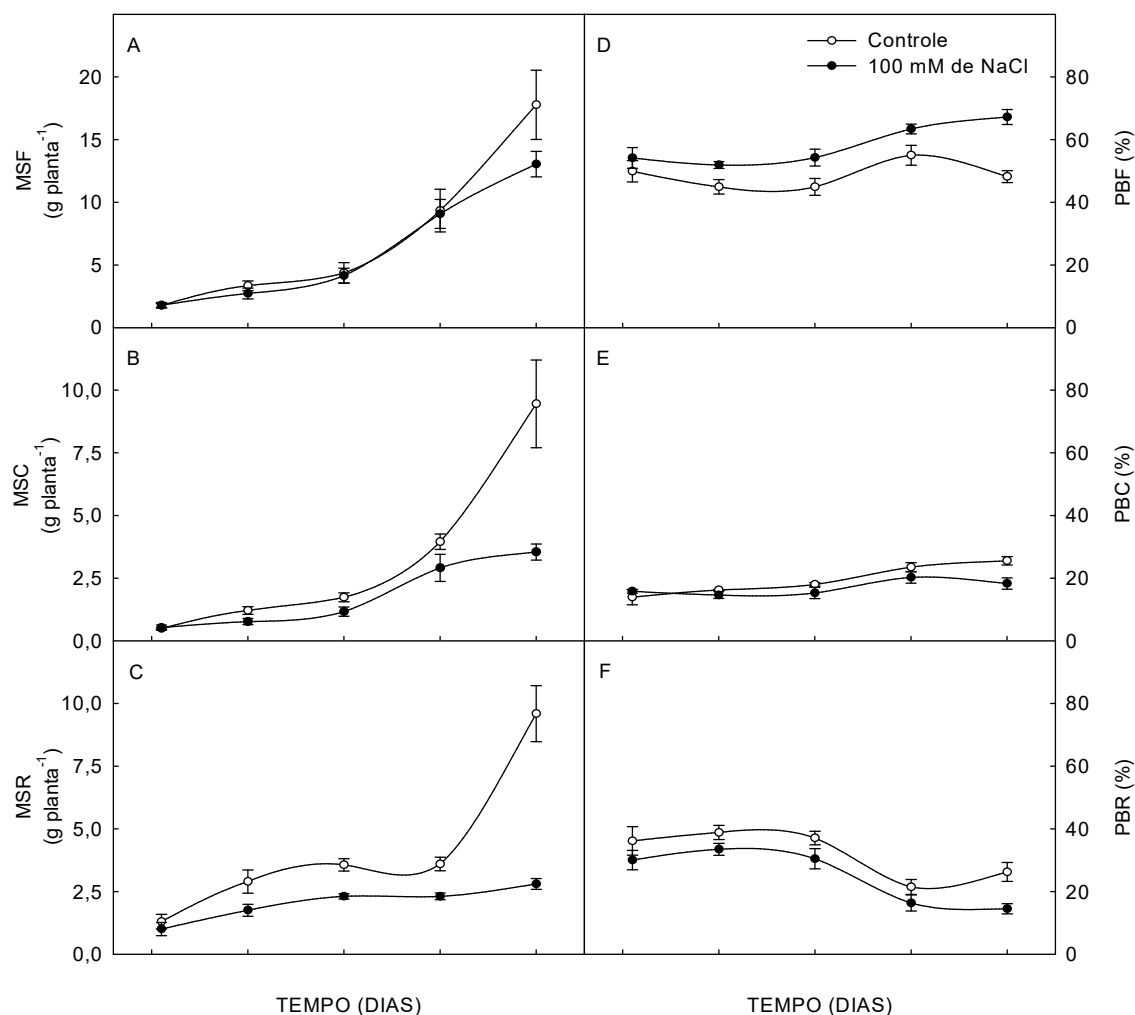
A massa seca das folhas (Figura 3.2A), caule (Figura 3.2B) e raízes (Figura 3.2C) das plantas de noni aumentou durante o período experimental em ambos os tratamentos de salinidade. Entretanto, quando se compara a produção de massa seca de ambos os tratamentos no final do período experimental, observa-se que a salinidade diminuiu a MSF, MSC e MSR em 26, 62 e 71%, respectivamente. Também pode ser observado que o estresse salino diminuiu a MSR e a MSC após 10 dias.



**Figura 3.1.** Altura (A), diâmetro do caule (B) e número de folhas (C) de plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle ( $\circ$ ) ou presença de 100 mM de NaCl ( $\bullet$ ) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões

Os dados de partição de biomassa nos diferentes órgãos da planta também são mostrados na Figura 3.2. Nas plantas estressadas, a PBF aumentou a partir dos

10 dias em relação ao respectivo controle (Figura 3.2D). No caule, a partição de biomassa diminuiu nas plantas estressadas apenas aos 40 dias (Figura 3.2E). Em contraste com a PBF, a PBR diminuiu a partir dos 10 dias quando comparada com as plantas controle (Figura 3.2F). Também pode ser observado nessa figura que, a partição de biomassa nas folhas foi maior que no caule e raízes, independentemente do tratamento ou do tempo considerado.



**Figura 3.2.** Massas secas das folhas (A), caule (B), raízes (C) e partição de biomassa nas folhas (D), caule (E) e raízes (F) de plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões

Os teores de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> em todas as partes das plantas sob estresse aumentaram abruptamente aos 10 dias, permanecendo relativamente estáveis até o

final do período experimental (Figuras 3.3A, 3.3B, 3.3C, 3.3D, 3.3E e 3.3F). Os teores de  $\text{Na}^+$  nas folhas das plantas estressadas foram cerca de 1,4 e 1,7 vezes, respectivamente, mais elevadas do que no caule e raízes. Entretanto, não foram observadas diferenças substanciais entre os teores de  $\text{Cl}^-$  dos diferentes órgãos das plantas.

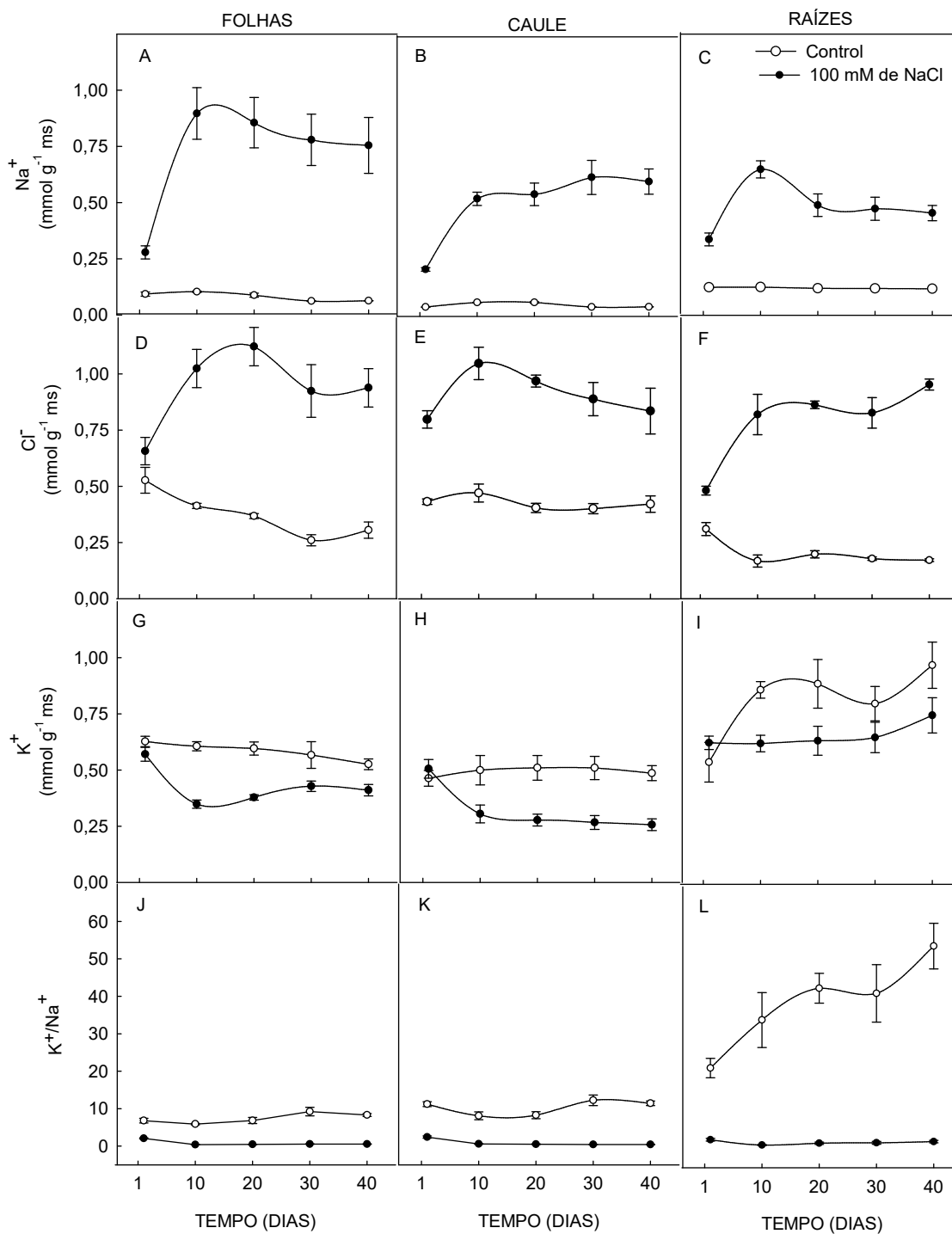
Em contraste ao observado para os teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , a partir dos 10 dias, a salinidade diminuiu os teores de  $\text{K}^+$  em aproximadamente 31% nas folhas, 45% no caule e 25% nas raízes (Figuras 3.3G, 3.3H e 3.3I). Os teores nas raízes das plantas estressadas foram aproximadamente 1,5 e 2,0 vezes maiores que os das folhas e do caule, respectivamente.

A relação  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  foi reduzida pela salinidade em todos os órgãos analisados (Figuras 3.3J, 3.3K e 3.3L). É importante ressaltar que a partir dos 10 dias de estresse salino os valores desta relação foram menores que 0,5 nas folhas e caules. Em contraste, nas raízes das plantas estressadas os valores de  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  em todas as coletas variaram entre 1,0 e 2,5.

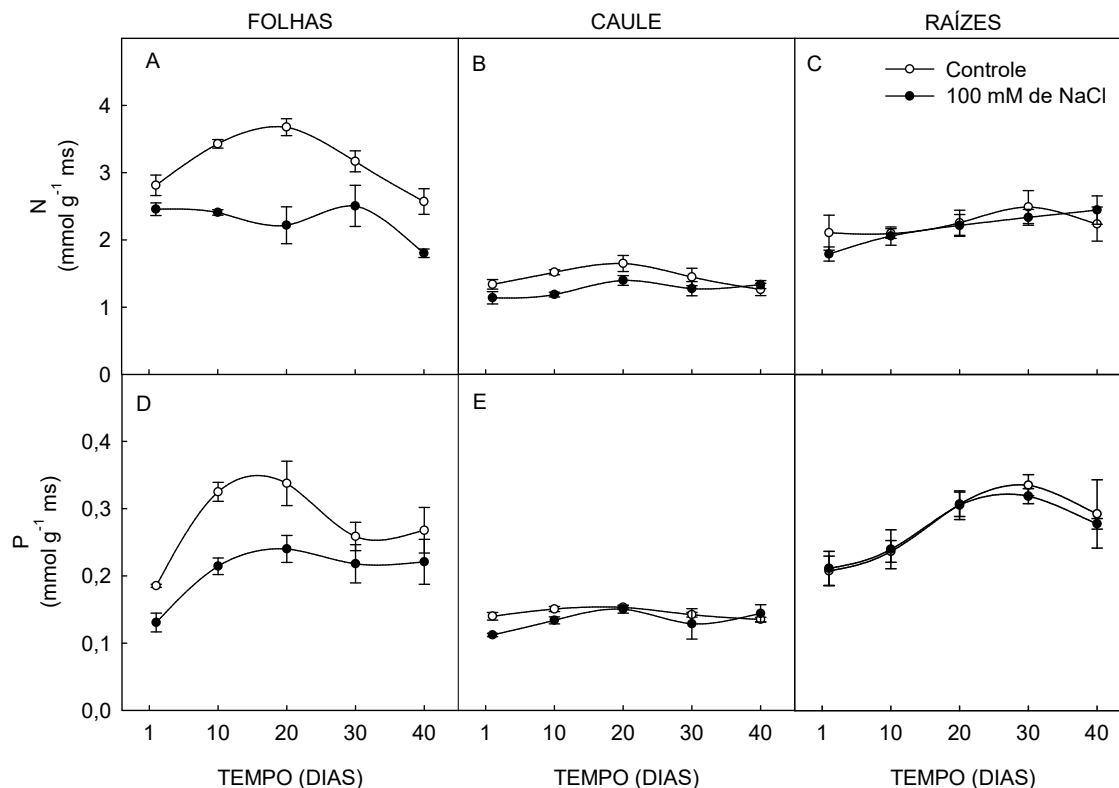
Nas folhas das plantas estressadas, os teores de N diminuíram durante o período experimental e no caule até os 20 dias em relação às plantas controle (Figuras 3.4A e 3.4B). Para os teores de P diminuíram nas folhas até os 20 dias e no caule até 10 dias (Figuras 3.4D e 3.4E). Nas raízes a salinidade não afetou os teores de N e P durante o período estudado (Figuras 3.4C e 3.4F).

As variações nos teores de carboidratos solúveis, aminoácidos livres, proteínas solúveis e prolina livre nas folhas e raízes são apresentadas na Figura 3.5. Comparando os tratamentos, a presença do NaCl na solução nutritiva diminuiu em 14% os teores de carboidratos solúveis foliares aos 40 dias de estresse (Figura 3.5A). Nas raízes, foram observadas reduções de 30 e 36% nos teores desses solutos aos 30 e 40 dias de estresse, respectivamente (Figura 3.5B).





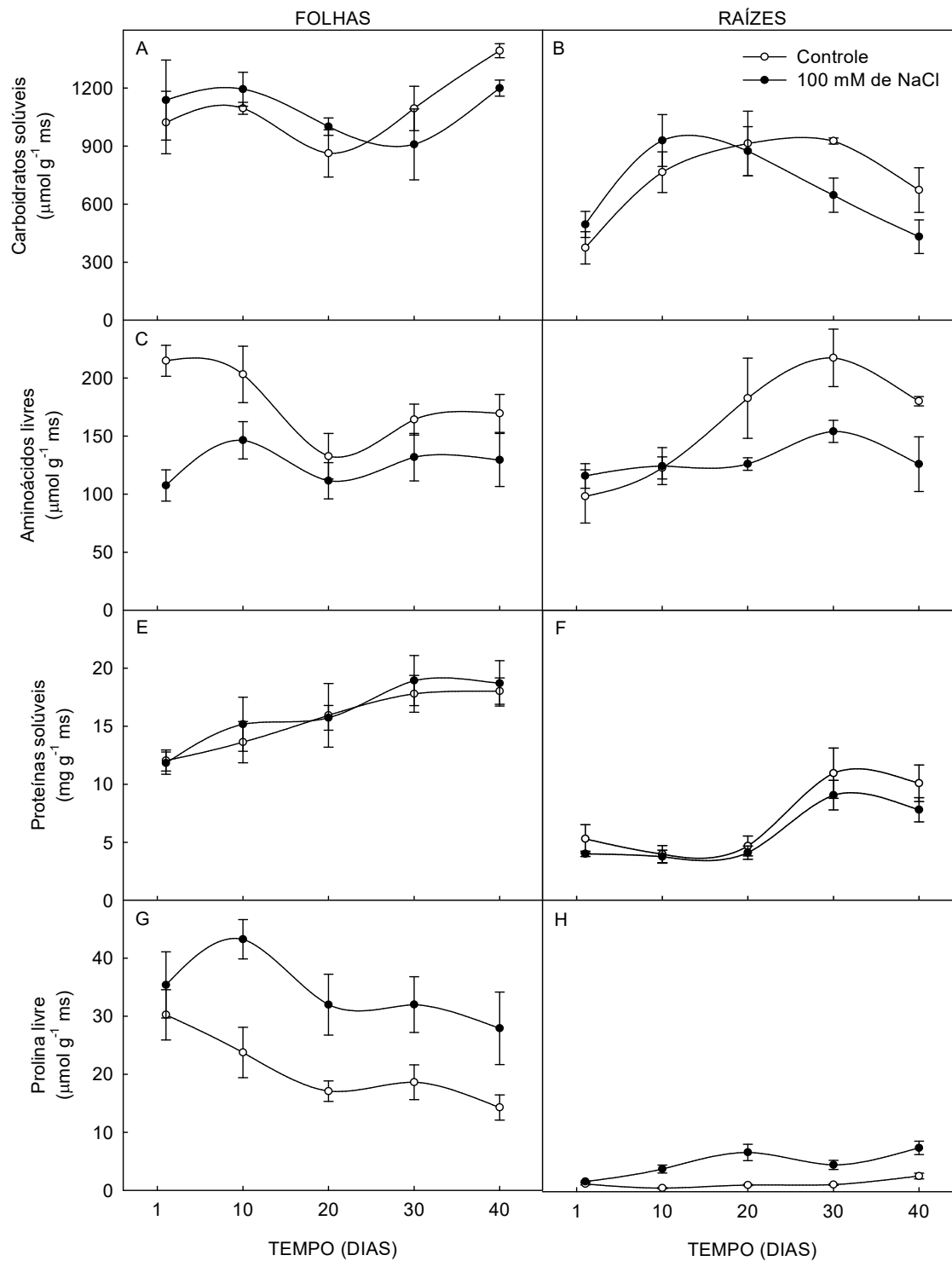
**Figura 3.3.** Teores de sódio (A, B, C), cloreto (D, E, F), potássio (G, H, I) e razão K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> (J, K, L) nos diferentes órgãos das plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões



**Figura 3.4.** Teores de N (A, B, C) e P (D, E, F) nos diferentes órgãos das plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões

A salinidade diminuiu os teores de aminoácidos livres foliares no primeiro dia (50%) e aos 10 dias (28%) (Figura 3.5C). Nas raízes, os aminoácidos diminuíram cerca de 30% após 20 dias de estresse (Figura 3.5D). As proteínas solúveis nas folhas e raízes aumentaram ao longo do período experimental em ambos os tratamentos. Entretanto, não foram observadas diferenças entre os teores de proteínas nas plantas controle e de estresse salino (Figura 3.5E e 3.5F).

A salinidade aumentou o teor de prolina livre nas folhas (Figura 3.5H) e nas raízes (Figura 3.5G), a partir dos 10 dias de estresse. Entretanto, comparando-se os teores de prolina em ambas as partes da planta, observa-se que nas folhas eles foram, em média, 17 e 6 vezes mais elevados que nas raízes das plantas controle e estressadas, respectivamente.



**Figura 3.5.** Teores de carboidratos solúveis (A e B), aminoácidos livres (C e D), proteína solúveis (E e F) e prolina livre (G e H), nas folhas e raízes de plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões

### 3.4. DISCUSSÃO

O acúmulo de sais na rizosfera pode limitar a absorção de água, causar desequilíbrio iônico e afetar o crescimento das plantas (IQBAL et al., 2014). Um dos efeitos mais prejudiciais do estresse salino são as desordens metabólicas causadas pelo acúmulo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas células das plantas (GEILFUS et al., 2015). Consequentemente, a redução da altura, do diâmetro do caule, do número de folhas e da produção de massa seca são os principais efeitos dos sais observados em plantas (SILVA et al., 2008).

A salinidade reduziu todas as variáveis de crescimento analisadas, sendo o diâmetro do caule e a MSF as menos afetadas. Souto et al. (2013) trabalhando com cultura do noni, também constataram reduções na altura da planta, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar e massa seca da parte aérea com o aumento da salinidade na água de irrigação de até  $6 \text{ dS m}^{-1}$ . Segundo Tatagiba et al. (2010) a taxa de sobrevivência após o transplante é maior em mudas de *Coffea arabica* que apresentam diâmetro do caule maior. Para Marçal (2011) a avaliação do diâmetro do caule é importante, pois quanto maior o diâmetro, mais vigorosa e robusta poderá ser a planta. Em estudo realizado com café que pertence à mesma família do noni (*Rubiaceae*), o diâmetro do caule e a altura da planta apresentaram correlação positiva com a produtividade inicial (CARVALHO et al., 2010). Também é importante ressaltar que as plantas de noni podem produzir até  $70.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de frutos (CHAN-BLANCO et al., 2006), necessitando de caules resistentes à quebra e ao tombamento da planta. Considerando que o diâmetro do caule foi uma variável pouco sensível ao estresse salino, esses dados sugerem que as plantas de noni serão menos sujeitas aos danos resultantes da quebra dos caules decorrentes do peso dos frutos.

A altura e o número de folhas das plantas de noni também diminuíram na presença de sais, como também reportado por outros autores (SILVA et al., 2008; SOUZA et al., 2014). Segundo (MAZHER et al., 2007), a redução na altura pode ser devido aos efeitos negativos dos sais na taxa fotossintética, na atividade enzimática e nos teores de carboidratos e hormônios de crescimento. Adicionalmente, os acúmulos de sais na parede celular causam desidratação das células pelo efeito osmótico do apoplasto, e isso pode reduzir tanto a taxa de divisão celular nas regiões meristemáticas, como a taxa de alongação pela redução na absorção de

água. Em contrapartida, a diminuição do número de folhas e da área foliar, exerce um efeito negativo na fotossíntese, absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, no crescimento e produção (SOUZA et al., 2014).

Com relação à produção de massa seca, as raízes e o caule foram os órgãos mais sensíveis ao efeito da salinidade quando comparados com as folhas. Abreu et al. (2008) relataram que as raízes apresentam maior capacidade de ajuste osmótico e melhor proteção ao estresse oxidativo sob condições de estresse salino. Entretanto, a maior redução na MSR observada no noni pode ser consequência das raízes serem diretamente expostas ao estresse salino. Souza et al. (2014) também observaram em noni, que a MSR foi mais reduzida pela salinidade que a MSPA. Em plantas de *Ricinus communis*, as raízes foram mais afetadas pela salinidade que o caule e as folhas quando submetidas a 150 mM de NaCl (RODRIGUES et al., 2014).

Analisando o efeito do tempo de estresse sobre as variáveis de crescimento estudadas neste trabalho, pode-se inferir que a altura, o diâmetro do caule, a MSC e a MSR foram os primeiros indicadores do efeito da salinidade sobre o noni.

O aumento da PBF ocorreu concomitantemente com a redução na PBR. Estes resultados corroboram com os de produção de massa seca quanto à maior sensibilidade das raízes do noni ao estresse salino e são semelhantes aos encontrados em mudas de *Ricinus communis* (RODRIGUES et al., 2014). Esta resposta tem sido observada em plantas expostas à salinidade (MUNNS; TESTER, 2008) e sugere uma sensibilidade do noni ao estresse salino, devido ao maior crescimento das partes com maior capacidade transpirativa em relação às raízes (RODRIGUES et al., 2014). Esta hipótese é suportada pela significativa redução do crescimento, bem como a presença de sintomas de toxidez como encurvamento das folhas mais velhas, textura coriácea e coloração azul esverdeada observada aos 40 dias (dados não mostrados), os quais são considerados sintomas de sensibilidade à salinidade (MUNNS; TESTER, 2008).

No presente estudo, o aumento da salinidade na solução nutritiva causou um rápido incremento nos teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em todos os órgãos das plantas. No entanto, estes aumentos foram mais pronunciados nas folhas que nas raízes. Resultados semelhantes também foram observados em *Spondias tuberosa* (SILVA et al., 2008). Em *Vicia faba*, os níveis de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas raízes aumentaram em 7,5 min e nas folhas em 30-40 min após a adição do NaCl na solução nutritiva (GEILFUS et al., 2015). O acúmulo de  $\text{Na}^+$  nas folhas pode ser decorrente da taxa

do fluxo de transpiração e/ou da redução do volume celular induzida pela menor absorção de água causada pela salinidade (MUNNS; TESTER, 2008).

O  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  são os íons mais abundantes nos solos salinos e a absorção em excesso desses sais pode afetar a estabilidade eletroquímica e o crescimento das plantas. O acúmulo de  $\text{Na}^+$  nas folhas pode desestabilizar as membranas e proteínas, afeta negativamente processos fisiológicos fundamentais como a divisão e expansão celulares, altera o metabolismo primário e secundário e a homeostase de nutrientes minerais (MUNNS; TESTER, 2008). O  $\text{Cl}^-$  em altas concentrações induz a degradação da clorofila, o que pode resultar em impacto estrutural no fotossistema II, reduzindo a capacidade fotossintética e o rendimento (MARSCHNER, 2012). Por isso, os íons ao atingir as folhas devem ser compartimentalizados no vacúolo das células, um processo que envolve o seu transporte através da plasmalema e tonoplasto (FLOWERS et al., 2010). Dessa forma, a inibição do crescimento induzida pela salinidade nas plantas de noni pode, ao menos em parte, estar relacionada aos efeitos tóxicos do acúmulo de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ .

Em contraste com o  $\text{Na}^+$ , a salinidade reduziu os teores de  $\text{K}^+$  nos diferentes órgãos da planta. Já está bem estabelecido que a absorção de  $\text{K}^+$  pode ser afetada pelo antagonismo estabelecido entre este íon e o  $\text{Na}^+$  nos sítios de absorção, resultante das semelhanças físico-químicas entre eles (ABREU et al., 2008; RODRIGUES et al., 2013). Esse antagonismo frequentemente resulta na diminuição dos teores de  $\text{K}^+$ , levando a desordens metabólicas nas plantas (MEKAWY et al., 2015).

A salinidade diminuiu os teores de  $\text{K}^+$  e aumentou os de  $\text{Na}^+$  em todos os órgãos da planta, alterando suas relações  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ . Resultados semelhantes foram reportados por Azevedo Neto et al. (2004), Rodrigues et al. (2014) e Sacramento et al. (2014). Segundo Greenway e Munns (1980), a relação  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  em glicófitas deve ser superior a 1,0 para a manutenção da homeostase iônica e uma ótima eficiência metabólica. Recentemente, Rodrigues et al. (2013) reportaram que relações  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  entre 1,0 a 2,0 foram as que proporcionaram a máxima fotossíntese e crescimento em plantas de *Jatropha curcas* sob estresse salino. No presente estudo, a partir dos 10 dias, os valores da relação  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  nas plantas estressadas estavam abaixo de 1,0, sugerindo que o metabolismo das plantas foi afetado pela salinidade o que pode, em parte, explicar a redução do crescimento induzida pela salinidade.

Os teores de N e P também diminuíram com a salinidade, principalmente nas folhas. Esse comportamento corrobora a redução no crescimento encontrada no presente trabalho, pois a produção de biomassa está diretamente relacionada ao equilíbrio nutricional das plantas (MARSCHNER, 2012). De acordo com Lucena et al. (2012), as reduções de massa seca observadas, respectivamente, em *Gliricidia sepium* e *Mangifera indica* sob estresse salino provavelmente foram ocasionadas pela diminuição dos teores de N e P.

Algumas razões fisiológicas e bioquímicas têm sido apresentadas para a redução da absorção de N e P em plantas submetidas ao estresse salino. O  $\text{NO}_3^-$  e o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  são as principais fontes de N e P nos solos agrícolas e elevadas concentrações de sais podem afetar a sua absorção, decorrente do mecanismo competitivo estabelecido com o  $\text{Cl}^-$  (FEIJÃO et al., 2013). Lucena et al. (2012) avaliando o efeito da salinidade na absorção de nutrientes em mangueira, observaram que o  $\text{Cl}^-$  inibiu a absorção de N e P devido a mecanismos competitivos.

No presente trabalho, as reduções nos teores de N e P em conjunção com a redução do crescimento induzidos pela salinidade também indicam um antagonismo (IMO, 2012) entre estes nutrientes e os íons  $\text{Cl}^-$  presentes no meio de cultivo. Em adição, a observação que a salinidade diminuiu os teores de N e P nos órgãos da parte aérea, mas não afetou os das raízes, sugere a ocorrência de distúrbios na translocação desses nutrientes das raízes para a parte aérea (MARSCHNER, 2012).

As plantas de noni mesmo apresentando altos teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , baixos teores de  $\text{K}^+$ , N e P e redução na produção de massa seca conseguiram manter a emissão de folhas novas e manutenção das folhas mais velhas mesmo apresentando alguns sintomas de toxidez, conforme evidenciado na Figura 3.1. Segundo Munns e Tester (2008) a evidência de tolerância osmótica de uma planta é observada pela capacidade de manter a produção de folhas novas e tolerância iônica pela sobrevivência de folhas mais velhas. Assim, pode-se sugerir que as plantas de noni apresentam determinada tolerância osmótica e iônica, sob condições de 100 mM de NaCl.

No presente estudo, a salinidade reduziu os teores de carboidratos solúveis nas folhas e raízes. Esta redução provavelmente ocorreu pela redução na fotossíntese líquida observada aos 30 e 40 dias de estresse (Capítulo 4). Conseqüentemente, também foi reduzido o transporte de carboidratos das folhas para raízes (SILVA et al., 2008). A redução dos teores de carboidratos nas folhas é

frequentemente associada a distúrbios na sua biossíntese ou na translocação para as demais partes da planta (AZEVEDO NETO et al., 2004, 2009). Diversos estudos têm relatado variações nos teores de carboidratos solúveis em diferentes espécies e órgãos da planta sob condições de estresse salino. Em *Zea mays* e *Anacardium occidentale*, os teores de carboidratos não foram afetados nos diferentes órgãos (ABREU et al., 2008; AZEVEDO NETO et al., 2004), mas em *Spondias tuberosa* foi observado acréscimo nas folhas e redução nas raízes (SILVA et al., 2008) e em *Spartina alterniflora* um incremento na parte aérea (LI et al., 2010). Assim, o conteúdo de carboidratos pode variar com a espécie, o órgão da planta e o tempo de exposição aos sais.

A adição do NaCl na solução nutritiva reduziu os teores de aminoácidos livres, tanto nas folhas como nas raízes (Figuras 3.5C e 3.5D), mas não afetou os de proteínas solúveis (Figuras 3.5E e 3.5F). A diminuição do teor de aminoácidos é frequentemente associada ao aumento da degradação ou inibição da sua biossíntese, juntamente com a redução na degradação ou aumento na síntese protéica (SILVA et al., 2008). A disponibilidade de N é outro fator que pode limitar a síntese de aminoácidos. A aplicação de doses crescentes de  $\text{NO}_3^-$  em plantas de milho sob estresse salino aumentou os teores de aminoácidos e a suplementação com adubação nitrogenada minimizou os efeitos deletérios da salinidade (FEIJÃO et al., 2013). Dessa forma, os dados desse trabalho sugerem que a redução dos teores de aminoácidos nas plantas estressadas foi o resultado da inibição da sua biossíntese. A observação que a salinidade não afetou os teores de proteínas solúveis (Figuras 3.5E e 3.5F) e diminuiu os de N (Figuras 3.4A e 3.4B), suporta esta hipótese.

Ao contrário dos carboidratos solúveis, aminoácidos livres e proteínas solúveis, os teores de prolina aumentaram significativamente nas plantas de noni sob estresse salino, em todo o período experimental. Resultados semelhantes foram obtidos por Souza et al. (2014) em noni e indicam que o acúmulo de prolina foi devido, primariamente, à síntese “de novo” associada com a redução da degradação e utilização (CARILLO et al., 2011).

A prolina é um osmólito que acumula em diversas espécies vegetais em resposta aos estresses bióticos e abióticos, entretanto seu papel na osmotolerância ainda permanece controverso. Dessa forma, enquanto alguns autores consideram a prolina um aminoácido importante para o ajustamento osmótico nas plantas sob



estresse salino (IQBAL et al., 2014; LI et al., 2010), outros consideram que os teores de prolina não são suficientes para uma contribuição significativa no ajustamento osmótico (OLIVEIRA et al., 2013). Neste trabalho, a salinidade elevou os teores de prolina nas folhas e raízes do noni, entretanto os teores de carboidratos solúveis e de aminoácidos livres foram, quantitativamente, muito mais elevados que os de prolina indicando que, em noni, os carboidratos solúveis e os aminoácidos livres foram os principais solutos orgânicos que contribuíram no potencial osmótico.

Por outro lado, como a prolina foi o único soluto orgânico cuja concentração aumentou com o estresse salino, a despeito da sua importância na osmorregulação, este resultado sugere que o acúmulo deste aminoácido desempenha um papel importante na aclimação do noni à salinidade. Neste cenário, outras funções importantes têm sido atribuídas ao acúmulo de prolina, como estabilização de membranas e proteínas, remoção de radicais livres, manutenção da homeostase redox celular, aumento da atividade de diferentes enzimas, reserva de carbono e nitrogênio, controle do pH citosólico e desintoxicação do excesso de  $\text{NH}_4^+$  (AZEVEDO NETO; SILVA, 2015). Alternativamente, o aumento na concentração de prolina associado à redução do crescimento sugere que a sensibilidade ao estresse está condicionada aos distúrbios metabólicos induzidos pelo sal, conforme proposto por Oliveira et al. (2013).

### **3.5. CONCLUSÕES**

Os resultados mostram que o aumento dos teores de íons tóxicos ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) induzido pela salinidade leva ao desequilíbrio nutricional de N, P e K. Este acúmulo de íons tóxicos associado ao desequilíbrio nutricional pode, ao menos em parte, explicar a redução do crescimento e a mudança no padrão de partição de biomassa das mudas de noni sob estresse salino. Entre as variáveis de crescimento avaliadas, a altura, o diâmetro do caule e a massa seca de raízes são os indicadores mais precoces do efeito da salinidade em mudas de noni. Os resultados também mostram que, quantitativamente, os carboidratos solúveis e os aminoácidos livres são os principais solutos orgânicos que contribuem para o potencial osmótico e a prolina, embora não contribua substancialmente para o potencial osmótico, deve desempenhar outro papel na aclimação do noni ao estresse salino e/ou uma indicadora dos distúrbios metabólicos induzidos pela salinidade.

### 3.6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) pelo apoio financeiro.

### 3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade de água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, FAO, 1999, 153p. (Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado).

ABREU, C. E. B.; PRISCO, J. T.; NOGUEIRA, A. R. C.; BEZERRA, M. A.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. Physiological and biochemical changes occurring in dwarf-cashew seedlings subjected to salt stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Campos de Goytacazes, v. 20, n. 2, p. 105-118, 2008.

AZEVEDO NETO A. D.; SILVA E. C. Physiology and biochemistry of salt stress tolerance in plants. In: Chakraborty, U.; Chakraborty, B. (Eds.). *Abiotic stresses in crop plants*. Wallingford: CABI, 2015. p. 81-101.

AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; LACERDA, C. F.; SILVA, J. V.; COSTA, P. H. A.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Campos de Goytacazes, v. 16, n. 1, p. 31-38. 2004.

AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Changes in soluble amino-N, soluble proteins and free amino acids in leaves and roots of salt-stressed maize genotypes. *Journal of Plant Interactions*, London, v. 4, n. 2, p. 137-144, 2009.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 39, n. 1, p. 205-207, 1973.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, San Diego, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

CARILLO, P.; ANNUNZIATA, M. G.; PONTECORVO, G.; FUGGI, A.; WOODROW, P. Salinity stress and salt tolerance. In: SHANKER, A. K.; VENKATESWARLU, B. (Eds.) *Abiotic stress in plants - mechanisms and adaptations*. Rijeka: InTech, 2011. p. 21-38.

CARVALHO, A. M.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, G. R.; BOTELHO, C. E.; GONÇALVES, F. M. A.; FERREIRA, A. D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 45, n. 3, p. 269-275, 2010.

CHAN-BLANCO, Y.; VAILLANT, F.; PEREZ, A. M.; REYNES, M.; BRILLOUET, J-M; BRAT, P. The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): a review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. *Journal of Food Composition and Analysis*, New York, v. 19, n.6-7, p. 645-654. 2006.

COSTA, A. B.; OLIVEIRA, A. M. C.; SILVA, A. M. O.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. Atividade antioxidante da polpa, casca e sementes do noni (*Morinda citrifolia* Linn). *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 345-354, 2013.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, Washington, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

FAITHFULL, N. T. *Methods in agricultural chemical analysis: a practical handbook*. Wallingford: CABI Publishing, 2002. 266 p.

FEIJÃO, A. R.; MARQUES, E. C.; SILVA, J. C. B.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Nitrato modula os teores de cloreto e compostos nitrogenados em plantas de milho submetidas à salinidade. *Bragantia*, Campinas, v. 72, n. 1, p. 10-19, 2013.

FLOWERS, T. J.; GALAL, H. K.; BROMHAM, L. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology*, Clayton South, v. 37, n. 1, p. 604-612, 2010.

FURLANI, P. R. *Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pela técnica de hidroponia – NFT*. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. 30 p. (Boletim Técnico, 168).

GEILFUS, C. NIEHAUS, K.; GÖDDE, V.; HASLER, M.; ZORB, C.; GORZOLKA, K.; JEZEK, M.; SENBAYRAM, M.; MÜLLER, J. L.; MÜHLING, K. H. Fast responses of metabolites in *Vicia faba* L. to moderate NaCl stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, Versailles, v. 92, p. 19-29, 2015.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v. 31, n. 1, p. 149-190, 1980.

IMO, M. Analysis of nutritional interactions in cropping systems. In: SHARMA, P. A.; ABROL, V. (Ed.). *Crop Production Technologies*. Rijeka: InTech, 2012. p. 221-242.

IQBAL, N. UMAR, S.; KHAN, N. A.; KHAN, M. I. R. A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: regulation of proline metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, Elmsford, v. 100, n. 1, p. 34-42, 2014.

JONES, J. B. *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. Boca Raton: CRC. Press, 2001. p. 205-206.

LI, R.; SHI, F.; FUKUDA, K. Interactive effects of various salt and alkali stresses on growth, organic solutes, and cation accumulation in a halophyte *Spartina alterniflora* (Poaceae). *Environmental and Experimental Botany*, Elmsford, v. 68, n. 1, p. 66-74, 2010.

LUCENA, C. C.; SIQUEIRA, D. L.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Efeito do estresse salino na absorção de nutrientes em mangueira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 297-308, 2012.

MARÇAL, J. A. *Crescimento inicial do pinhão - manso (Jatropha curcas L.) sob irrigação com matéria orgânica*. 2011. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.

MARSCHNER, P. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. London: Academic Press, 2012. 651 p.

MAZHER, A. M. A., EL-QUESNI, E. M. F., FARAHAT, M. M. Responses of ornamental and woody trees to salinity. *World Journal of Agricultural Sciences*, Islamabad, v. 3, n. 3, p. 386-395, 2007.

MEKAWY, A. M. M. ASSAHA, D. V. M.; YAHAGI, H.; TADA, Y.; UEDA, A.; SANEOKA, H. Growth, physiological adaptation, and gene expression analysis of two Egyptian rice cultivars under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*. Versailles, v. 87, n. 1, p. 17-25, 2015.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008.

OLIVEIRA, V. P.; MARQUES, E. C.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Physiological and biochemical characteristics of *Sorghum bicolor* and *Sorghum sudanense* subjected to salt stress in two stages of development. *African Journal of Agricultural Research*, Lagos, v.8, n.8, p. 660-670, 2013.

QUÉRO, A.; MOLINIÉ, R.; ELBOUTACHFAITI, R.; PETIT, E.; PAU-ROBLOT, C.; GUILLOT, X.; MESNARD, F. COURTOIS, J. Osmotic stress alters the balance between organic and inorganic solutes in flax (*Linum usitatissimum*). *Journal of Plant Physiology*, Stuttgart, v. 171, n. 1, p. 55-64, 2014.

RODRIGUES, C. R. F.; SILVA, E. N. S.; FERREIRA-SILVA, S. L.; VOIGT, E. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. High  $K^+$  supply avoids  $Na^+$  toxicity and improves photosynthesis by allowing favorable  $K^+ : Na^+$  ratios through the inhibition of  $Na^+$  uptake and transport to the shoots of *Jatropha curcas* plants. *Journal of Plant Nutrition*, Philadelphia, v. 176, n. 1, p. 157-164, 2013.

RODRIGUES, C. R. F.; SILVA, E. N.; MOURA, R. M., ANJOS, D. C. A.; HERNANDEZ, F. F. F; VIÉGAS, R. A. Physiological adjustment to salt stress in *R. Communis* seedlings is associated with a probable mechanism of osmotic adjustment and a reduction in water lost by transpiration. *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, v. 54, n. 1, p. 233-239, 2014.

SACRAMENTO, B. L.; CRUZ, T. S. SILVA, L. L. MOTA, N. A. B.; AZEVEDO NETO, A. D. Pigmentos e teores de solutos orgânicos em plantas de aguapé sob estresse salino. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 33-44, 2014.

SEVERIANO, L. S.; LIMA, R. L. S.; CASTILLO, N.; LUCENA, A. M. A.; AULD, D. L.; UDEIGWE, T. K. Calcium and magnesium do not alleviate the toxic effect of sodium on the emergence and initial growth of castor, cotton, and safflower. *Industrial Crops and Products*, Amsterdam, v. 57, n. 1, p. 90-97, 2014.

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*, Elmsford, v. 63, n. 1, p. 147-157, 2008.

SNEDECOR, G. W. *Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology*. 5. ed. Ames: Iowa State College Press, 1956. 534 p.

SOUTO, A. G. L., CAVALCANTE, L. F.; NASCIMENTO, J. A. M.; MESQUITA, F. O.; LIMA NETO, A. J. Comportamento do noni à salinidade da água de irrigação em solo com biofertilizante bovino. *Irriga*, Botucatu, v. 18, n. 3, p. 442-453, 2013.

SOUZA, M. C. M.; LACERDA, C. F.; AMORIM, A. V.; MENEZES, A. S.; Influência da matéria orgânica e do ambiente no crescimento e acúmulo de solutos em *Morinda*

*citrifolia* submetida à salinidade. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 704-712, 2014.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, E. M; REIS, E. F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) Submetidas a diferentes níveis de sombreamento. *Coffee Science*, Lavras, v. 5, n. 3, p. 251-261, 2010.

MIAN-YING, W.; WEST, B.; JESEN, C. J.; NOWICKI, D.; SU, C.; PALU, A. K.; ANDERSON, G. *Morinda citrifolia* (Noni): a literature review and recent advances in Noni research. *Acta Pharmacologica Sinica*, Shanghai, v. 23, n. 12, p. 1127 -1141, 2002.

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

## CAPÍTULO 4

### **Trocas gasosas, fluorescência da clorofila e pigmentos fotossintéticos de noni (*Morinda citrifolia* L.) sob estresse salino**

(Cópia do trabalho na normas da revista Research African Journal of Agricultural,  
obedecendo às normas deste periódico, excetuando-se a numeração da tabela e  
das figuras e formatação de páginas)

|  |    |
|--|----|
| Resumo .....   | 81 |
| Abstract .....   | 82 |
| 4.1. INTRODUÇÃO .....  | 82 |
| 4.2. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 84 |
| 4.2.1. Condições de crescimento e tratamento .....   | 84 |
| 4.2.2. Trocas gasosas .....  | 85 |
| 4.2.3. Eficiência fotoquímica.....   | 85 |
| 4.2.4. Teores de clorofilas .....  | 85 |
| 4.2.5. Integridade das membranas celulares e teor relativo de água .....                                   | 86 |
| 4.2.6. Análise estatística.....  | 86 |
| 4.3. RESULTADOS .....  | 86 |
| 4.3.1. Efeito do NaCl na produção de massa seca da parte aérea .....                                       | 86 |
| 4.3.3. Efeitos do NaCl na fluorescência da clorofila a .....   | 88 |
| 4.3.4. Efeito do NaCl nos pigmentos fotossintéticos.....   | 90 |
| 4.3.5. Efeito do NaCl no teor relativo de água e percentagem de integridade absoluta<br>das membranas..... | 91 |
| 4.4. DISCUSSÃO .....   | 91 |
| 4.5. CONCLUSÕES .....  | 95 |
| 4.6. REFERÊNCIAS .....   | 95 |



**Trocas gasosas, fluorescência da clorofila e pigmentos de noni (*Morinda citrifolia* L.) sob estresse salino**

Alide Mitsue Watanabe Cova<sup>1</sup>, André Dias de Azevedo Neto<sup>2</sup>, Rogério Ferreira Ribas<sup>1</sup>, Hans Raj Gheyi<sup>1</sup>, Leandra Brito de Oliveira<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 44380, BA, Brasil

<sup>2</sup>Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 44380, BA, Brasil

---

**Resumo:** O noni é uma fruteira que apresenta boa adaptação a diversas condições de solo e clima. Para avaliar as respostas fisiológicas à salinidade, mudas de noni foram cultivadas em dois níveis de NaCl na solução nutritiva (0 ou 100 mM). Os efeitos do estresse salino sobre as trocas gasosas, fluorescência da clorofila a, pigmentos fotossintéticos, teor relativo de água e danos membranares foram avaliados após 1, 10, 20, 30 e 40 dias de estresse salino. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 5 x 2, com quatro repetições. A salinidade não afetou a eficiência no uso da água, mas reduziu a assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, a condutância estomática, a transpiração, a eficiência de carboxilação e os teores de clorofila a, b, total e carotenóides. A salinidade não acarretou maiores alterações na emissão de fluorescência da clorofila a, entretanto as plantas estressadas apresentaram uma diminuição da capacidade de fotoproteção pelo ciclo das xantofilas. A salinidade não afetou o estado hídrico das folhas, mas foram observados danos na integridade das membranas com o tempo de exposição ao sal. Os dados indicam que o noni apresenta como mecanismo de tolerância à salinidade o fechamento estomático, diminuindo a perda de água pela transpiração e mantendo o status hídrico.

Palavras-chave: Fotossíntese, condutância estomática, dissipação energética, integridade da membrana.

---

## **Gas exchange, chlorophyll fluorescence and pigments of noni (*Morinda citrifolia* L.) under salt stress**

**Abstract:** Noni is a fruit crop that is well adapted to different soil and climate conditions. To evaluate the physiological responses to salinity, noni seedlings were grown in a hydroponic system under two NaCl levels (0 or 100 mM). The effects of salinity on the gas exchange, chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments, relative water content and membrane damage were evaluated after 1, 10, 20, 30 and 40 days of salt stress. The experimental design was a completely randomized in a five x two factorial arrangement, with four replications. Salinity did not affect the efficiency of water use, but reduced net CO<sub>2</sub> assimilation, stomatal conductance, transpiration and the contents of chlorophyll a, b, and total carotenoid. Salinity caused no major changes in the emission of chlorophyll a of fluorescence, however the stressed plants showed a decrease in photoprotection capacity by the cycle of xanthophylls. Salinity did not affect the leaf water status, but damage in the membrane integrity were observed with the time of exposure to salt stress. The data indicate that the mechanism of salt tolerance in noni includes stomatal closure, reducing water loss by transpiration and keeping the water status.

**Keywords:** Photosynthesis, stomatal conductance, energy dissipation, membrane integrity.

### **4.1. INTRODUÇÃO**

O aumento da salinidade da solução do solo acima da capacidade para o pleno desenvolvimento das plantas é um entrave a produção agrícola, principalmente nos solos irrigados das regiões áridas e semiáridas. No Brasil, a região semiárida ocupa uma área de 969.589,4 km<sup>2</sup>, localizada principalmente no Nordeste do país (Brasil, 2007). Nestas áreas, a baixa disponibilidade hídrica associada à irrigação com água salobra e as condições edafoclimáticas diminuem a produção agrícola, constituindo-se os principais obstáculos ao desenvolvimento agrícola da região.

As plantas cultivadas nas regiões áridas e semiáridas são frequentemente irrigadas com água de baixa qualidade, em algumas épocas do ano, uma vez que na maioria das áreas é a única fonte disponível. Entretanto, em quase todo o mundo

tem-se utilizado com sucesso práticas adequadas de manejo da irrigação, do solo e da cultura e utilização de plantas tolerantes à salinidade (Bezerra et al., 2010).

A salinidade pode diminuir a absorção de água pelas plantas, provocar desequilíbrios nutricionais, alterar os processos metabólicos e diminuir a eficiência fotossintética (Munns e Tester, 2008; Iqbal et al., 2014). Assim, as plantas precisam utilizar mecanismos fisiológicos e bioquímicos para enfrentar os efeitos osmóticos e iônicos dos sais, sendo necessário compreender os mecanismos de tolerância das plantas à salinidade para uma produção agrícola econômica.

O estudo das variáveis fisiológicas como condutância estomática e fluorescência da clorofila a são importantes no esclarecimento dos efeitos das condições osmóticas e hídricas imposta pela salinidade sobre a eficiência fotossintética das plantas. Neste contexto, alguns estudos com trocas gasosas e de fluorescência da clorofila a têm sido utilizado como método não destrutivo para avaliar a tolerância das plantas à salinidade (Silva et al., 2011; Azevedo Neto et al., 2011; Silva et al., 2014). Além disso, são variáveis de rápida determinação, que permitem acompanhar o desenvolvimento da planta por ser uma metodologia não-invasiva proporcionando informações qualitativas e quantitativas sobre as condições fisiológicas dos processos fotossintéticos (Silva et al., 2011; Kalaji et al., 2014).

A fluorescência da clorofila a determina o estado de distribuição de energia na membrana do tilacóide, a eficiência quântica do fotossistema II (FSII) e a extensão da fotoinibição (Wang et al., 2007). Dessa forma, as informações qualitativas e quantitativas sobre os processos fotossintéticos no cloroplasto, mostram o funcionamento do maquinário fotossintético sob diferentes condições internas e externas (Roháček e Barták, 1999).

Silva et al. (2011) relataram que a salinidade reduziu fortemente as trocas gasosas e a atividade fotoquímica em plantas de *Jatropha curcas* causada pelo estresse iônico. Portanto, as avaliações de trocas gasosas e fluorescência da clorofila a podem ser utilizadas como ferramentas para diagnosticar a integridade do maquinário fotossintético perante as condições adversas do ambiente (Gonçalves et al., 2010).

A *Morinda citrifolia* Linn conhecida popularmente como noni, pertencente à família *Rubiaceae*, é uma planta medicinal utilizada a mais de 2000 anos pelos povos polinésios (Chan-Blanco et al., 2006). As folhas e principalmente os frutos são consumidos sob diferentes formas por várias comunidades em todo o mundo devido

aos efeitos relacionados com atividades antioxidante, anti-inflamatória, analgésica, imunomoduladora, antibacteriana, antitumoral, fontes de vitaminas, entre outros (Chan-Blanco et al., 2006; Costa et al., 2013).

O cultivo do noni constitui uma alternativa para estudos em regiões áridas e semiáridas. A planta aclimata-se à diversas condições ambientais (Nelson e Elevitch, 2006), mas alguns estudos têm mostrado que a irrigação com água salina reduz o seu crescimento (Souto et al., 2015; 2016).

Tendo em vista a importância medicinal do noni, sua capacidade adaptativa e a escassez de informações sobre o seu desenvolvimento em ambiente salino, este trabalho teve como objetivo avaliar as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila a e os teores de pigmentos em plantas de noni sob estresse salino, com vistas a um melhor entendimento dos mecanismos de tolerância ao estresse salino nesta espécie.

## 4.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1. Condições de crescimento e tratamento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado usando o esquema fatorial 5 tempos (1, 10, 20, 30 e 40 dias após o transplante) x 2 níveis de salinidade na solução nutritiva (0 e 100 mM NaCl), com quatro repetições. Os valores médios de temperatura, umidade relativa do ar e radiação fotossinteticamente ativa (ao meio dia) foram, respectivamente, 25 °C, 81% e 1200  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Foram selecionadas mudas de noni com três meses de idade e dois pares de folhas. As mudas foram transferidas para recipientes contendo 12 L de solução nutritiva de Furlani (1998), em sistema hidropônico *Floating*. As mudas de noni permaneceram em solução nutritiva por quatro dias para efeito de aclimação. Após este período, as mudas passaram a receber os respectivos tratamentos (solução nutritiva sem NaCl - controle ou solução nutritiva contendo 100 mM de NaCl - estresse salino). O NaCl foi adicionado gradualmente (25 mM de NaCl  $\text{dia}^{-1}$ ), a fim de evitar o choque osmótico. O volume das soluções foi completado com água diariamente e a renovação foi realizada a cada sete dias. O pH foi mantido em  $6,0 \pm$

0,2 com o uso de NaOH ou HCl. O sistema foi mantido sob aeração intermitente, de 15 minutos a cada hora, por meio de compressor de ar acoplado a um temporizador.

#### 4.2.2. Trocas gasosas

As taxas de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), eficiência no uso da água (EUA), eficiência de carboxilação ( $A/C_i$ ) e temperatura da folha ( $T_f$ ) foram obtidas por meio de um sistema de medição de trocas gasosas portátil LI-6400XT (LI-COR Biosciences INC., Lincoln, Nebraska, USA) equipado com uma fonte de luz azul/vermelho modelo LI-6400-02B (LI-COR). As medições foram realizadas 24 horas após atingir a dose de 100 mM de NaCl e as demais avaliações à cada 10 dias, das 8 às 10 h, sob luz saturante artificial de 1000  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e concentração de  $\text{CO}_2$ , temperatura e vapor de  $\text{H}_2\text{O}$  do ambiente. Foram realizados 10 registros por folha (um a cada 12 segundos), sendo a média considerada como uma medida.

#### 4.2.3. Eficiência fotoqu\u00edmica

As medidas de fluoresc\u00eancia de clorofila  $a$  foram realizadas no mesmo hor\u00e1rio e nas mesmas folhas utilizadas para avalia\u00e7\u00e3o das trocas gasosas, atrav\u00e9s de um fluor\u00f4metro port\u00e1til modulado OS5p (Opti-Sciences, Hudson, New Hampshire, USA). O rendimento qu\u00e2ntico potencial do fotossistema II (FSII) foi calculado ap\u00f3s 60 minutos de adapta\u00e7\u00e3o ao escuro como  $(F_v/F_m) = (F_m - F_0)/F_m$ , em que  $F_0$  \u00e9 a fluoresc\u00eancia m\u00ednima, excitada por uma luz vermelha modulada de baixa intensidade ( $0,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e  $F_m$  \u00e9 a fluoresc\u00eancia m\u00e1xima obtida pela aplica\u00e7\u00e3o de um pulso de 0,8 segundos de luz act\u00ednica saturante ( $> 6000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Os rendimentos das vias competitivas de desexcita\u00e7\u00e3o da energia absorvida no FSII: rendimento qu\u00e2ntico efetivo ( $Y_{II}$ ), rendimento qu\u00e2ntico de dissipa\u00e7\u00e3o regulada ( $Y_{NPQ}$ ) e o rendimento qu\u00e2ntico de dissipa\u00e7\u00e3o n\u00e3o-regulada ( $Y_{NO}$ ) foram determinados de acordo com Kramer et al. (2004) e Klughammer e Schreiber (2008).

#### 4.2.4. Teores de clorofilas

Os teores de clorofila a (Cla), clorofila b (Clb) e carotenóides (Car) foram determinados por espectrofotometria a 664,1, 648,6 e 470 nm, em extrato etanólico a 95%, conforme metodologia descrita por Lichtenthaler e Buschmann (2001), utilizando as fórmulas:

$$\text{Cla } (\mu\text{g/mL}) = 13,36 \times A_{664,1} - 5,19 \times A_{648,6}$$

$$\text{Clb} (\mu\text{g/mL}) = 27,43 \times A_{648,6} - 8,12 \times A_{664,1}$$

$$\text{Car } (\mu\text{g/mL}) = (1000 \times A_{470} - 2,13 \times \text{Cla} - 97,64 \times \text{Clb}) / 209$$

A partir dos dados de Cla e Clb, foram calculados os teores de clorofila total (Clt), e as razões Cla/Clb e Clt/Car.

#### 4.2.5. Integridade das membranas celulares e teor relativo de água

As avaliações da percentagem de integridade absoluta (PIA) das membranas celulares e do teor relativo de água (TRA) foram realizadas no mesmo par de folhas onde foram determinados os teores de pigmentos. Para ambas as análises foram retirados 10 discos foliares de 7 mm de diâmetro. A PIA foi determinada conforme metodologia descrita por Pimentel et al. (2002) e o TRA de acordo com Barr e Watherley (1962). Em seguida, foi obtida a massa seca da parte aérea (MSPA) após secagem em estufa com circulação de ar a 65 °C por 72 h.

#### 4.2.6. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em arranjo fatorial cinco (tempo) x dois (níveis de sal), com quatro repetições. Os dados foram comparados através de suas médias e respectivos desvios padrões conforme Snedecor (1956).

### 4.3. RESULTADOS

#### 4.3.1. Efeito do NaCl na produção de massa seca da parte aérea

A massa seca da parte aérea das plantas de noni aumentou durante o período experimental em ambos os tratamentos de salinidade (Figura 4.1). Entretanto, a salinidade diminuiu 30% a produção de massa seca da parte aérea quando se comparam ambos os tratamentos no final do período experimental.

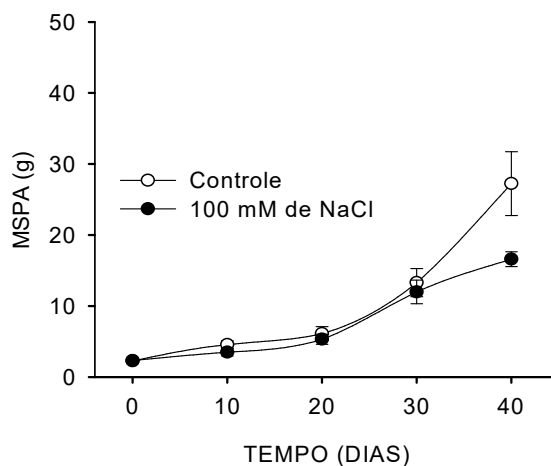


Figura 4.1. Massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.

#### 4.3.2. Efeito do NaCl nas trocas gasosas

A imposição da salinidade diminuiu  $A$ ,  $g_s$ , e  $E$  e aumentou a  $T_f$ . Não foram observadas alterações consistentes na EUA e na  $A/C_i$  como resultado do estresse salino (Figura 4.2). Assim, após 30 e 40 dias foram observadas reduções de 34 e 29%, respectivamente na  $A$  das plantas sob estresse em relação às controle (Figura 4.2A). Para a  $g_s$ , as reduções foram de 29, 37, 46 e 53% aos 10, 20, 30 e 40 dias, respectivamente (Figura 4.2B). Para a  $E$  as reduções foram de 41, 59 e 30% aos 20, 30 e 40 dias, respectivamente (Figura 4.2C). Durante todo o período experimental, a  $T_f$  no tratamento de estresse foi, em média, 1,61 °C mais elevada que no controle (Figura 4.1F). Também foi observado que, em ambos os tratamentos, os maiores valores de  $T_f$  foram registrados no 1° e 30° dia.

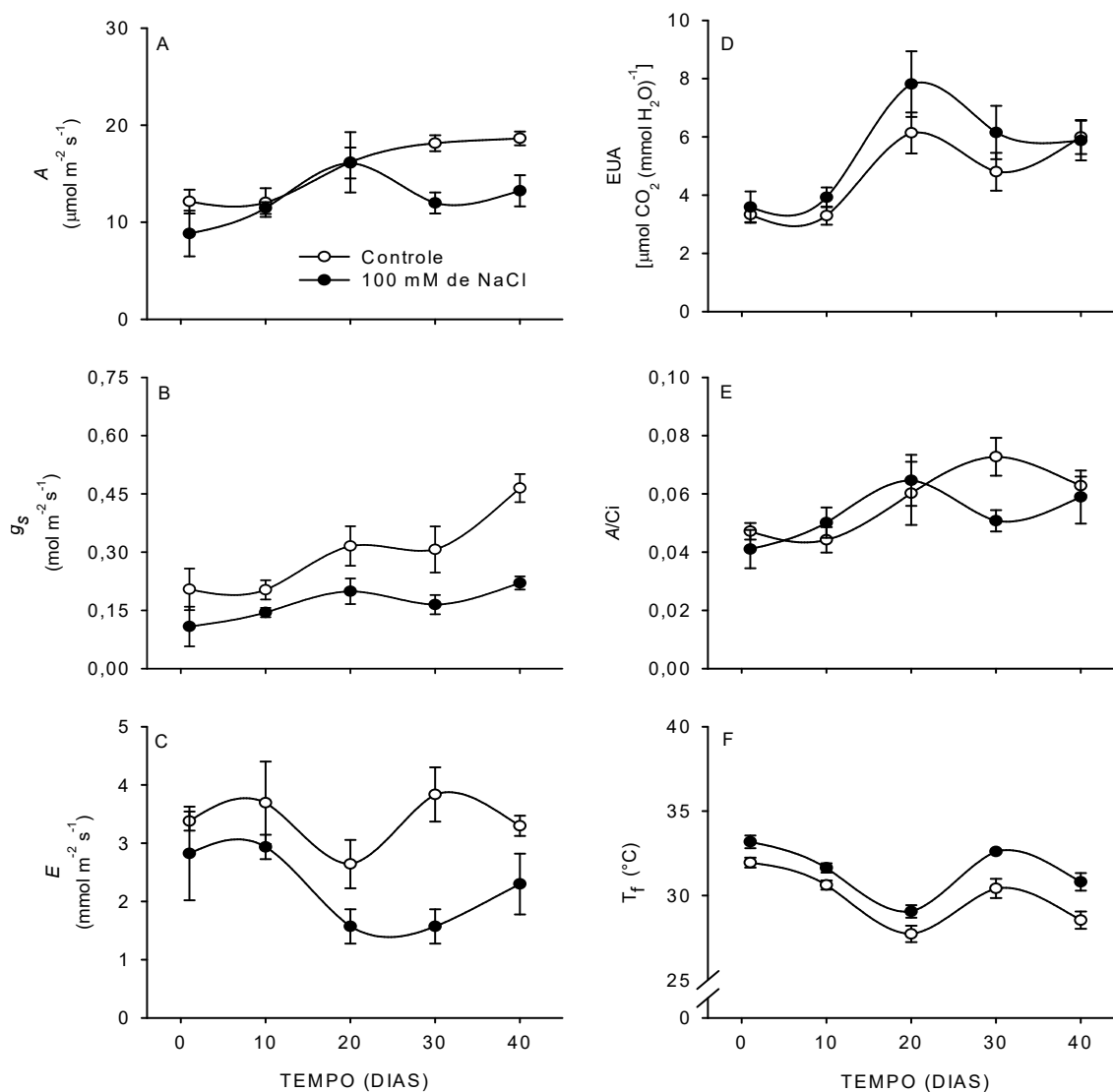


Figura 4.2. Fotossíntese (A), condutância estomática (B), transpiração (C), eficiência no uso da água (D), eficiência de carboxilação (E) e temperatura da folha (F) de plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em condições controle (○) ou presença de 100 mM de NaCl (●) na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões

#### 4.3.3. Efeito do NaCl na fluorescência da clorofila a

A fluorescência da clorofila a em função dos dias de estresse salino é apresentada na Figura 4.3. A salinidade não alterou significativamente o rendimento quântico potencial do FSII ( $F_v/F_m$ ), a fluorescência inicial ( $F_0$ ) e a fluorescência



máxima ( $F_m$ ) no período avaliado (Figura 4.3A, B e C). Também pode ser observado nessa figura que no 1º e 30º dia os valores de  $F_v/F_m$  nas plantas de ambos os tratamentos foram 0,71 e 0,70, respectivamente.

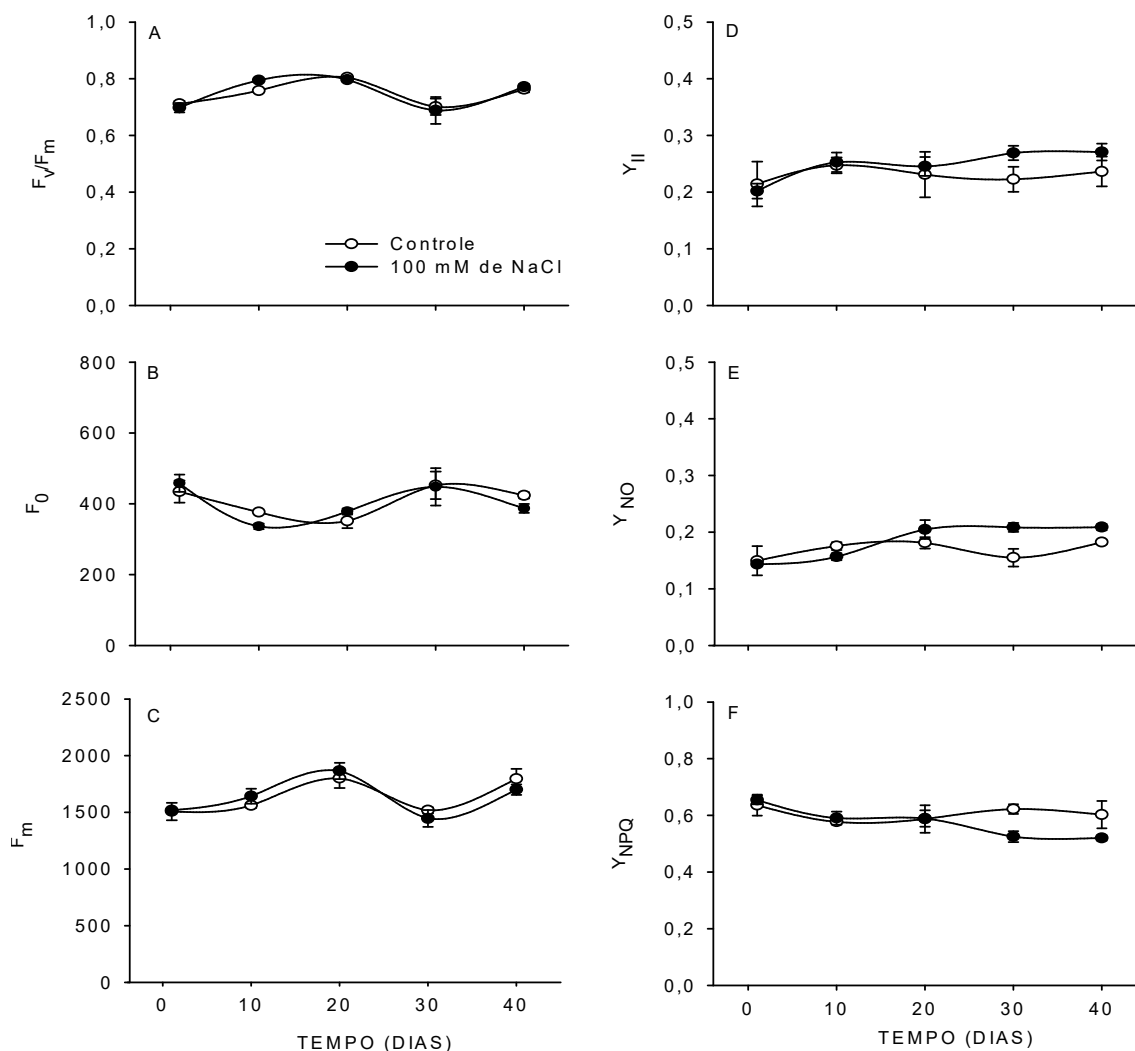


Figura 4.3. Rendimento quântico potencial do FSII (A); fluorescência inicial (B), fluorescência máxima (C), eficiência quântica efetiva do FSII (D), rendimento quântico de dissipação não regulada (E), rendimento quântico de dissipação regulada (F) em plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em ausência (○) ou presença (●) de 100 mM de NaCl na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões

A salinidade aumentou a eficiência quântica efetiva do FSII ( $Y_{II}$ ) em 21% aos 30 dias (Figura 4.3D) e o rendimento quântico de dissipação não regulada  $Y_{NO}$  em 35 e 15% aos 30 e 40 dias, respectivamente (Figura 4.3E). Em contraste, o

rendimento quântico de dissipação regulada  $Y_{NPQ}$  foi reduzido pela salinidade em 16 e 14% aos 30 e 40 dias, respectivamente (Figura 4.3F).

#### 4.3.4. Efeito do NaCl nos pigmentos fotossintéticos

A salinidade reduziu os teores de todos os pigmentos nas folhas de noni (Figura 4.4). Os teores Cla, Clb e Clt diminuíram após 10 dias de estresse em relação às plantas controle e os de Car após 20 dias (Figuras 4.4A, 4.4B, 4.4C e 4.4D). Assim, aos 40 dias de estresse, observam-se reduções de 24, 27, 25 e 17% para os teores de Cla, Clb, Clt e Car, respectivamente.

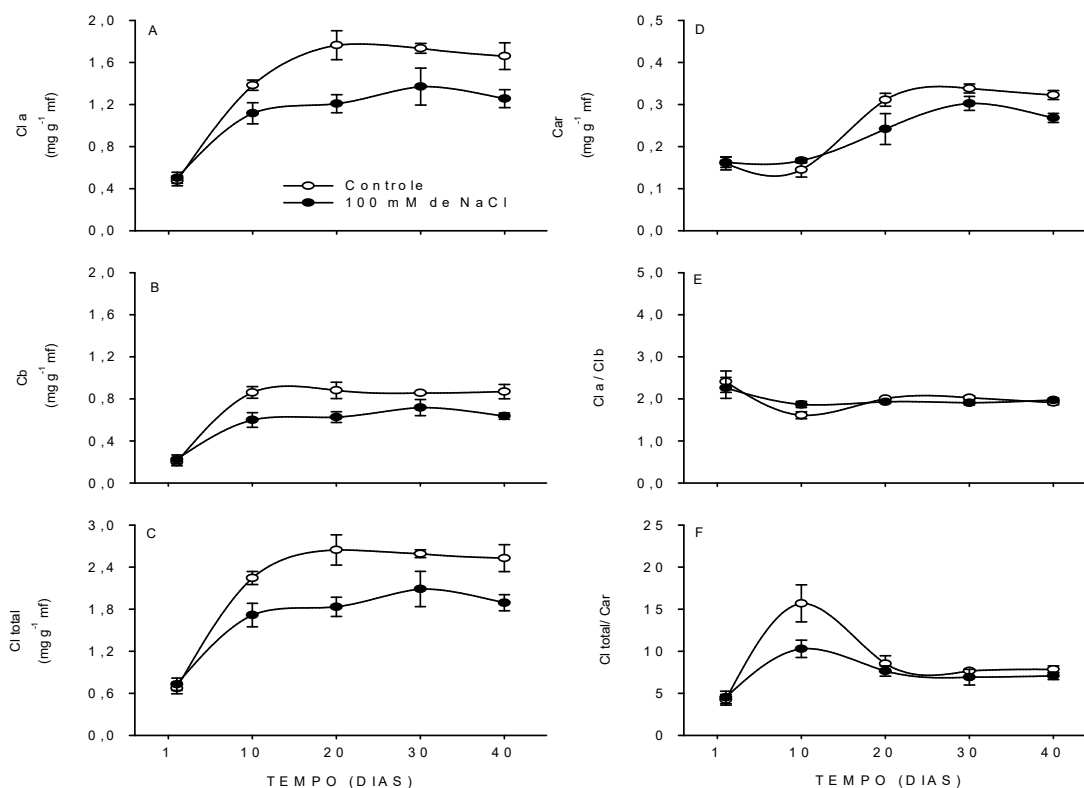


Figura 4.4. Teores de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofila total (C), carotenóides (D) e razões clorofila a/clorofila b (E) e clorofilas/carotenóides (F) em plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em ausência (○) ou presença (●) de 100 mM de NaCl na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.

A razão entre as clorofilas a e b aumentou 16% aos 10 dias de estresse em relação às plantas controle (Figura 4.4E). Em contraste, a Clt/Car diminuiu 34% para

o mesmo período avaliado (Figura 4.4F). Nas demais coletas não foram observadas diferenças entre tratamentos para as razões desses pigmentos.

#### 4.3.5. Efeito do NaCl no teor relativo de água e percentagem de integridade absoluta das membranas

A Figura 4.5 mostra os efeitos do estresse salino no teor relativo de água (TRA) e na percentagem de integridade absoluta das membranas (PIA) de plantas de noni. Verifica-se nesta figura que a salinidade não afetou o TRA durante o período experimental (Figura 4.5A). Por outro lado, a integridade das membranas no tratamento de estresse diminuiu 40, 27, 20 e 17% aos 10, 20, 30 e 40 dias, respectivamente (Figura 4.5B).

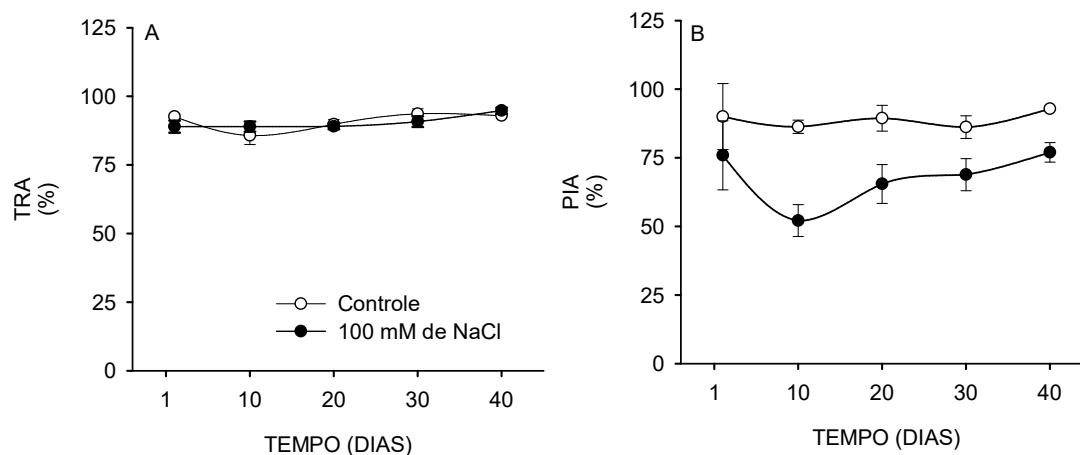


Figura 4.5. Teor relativo de água (A) e percentagem de integridade absoluta (B) em plantas de noni cultivadas durante 40 dias em sistema hidropônico em ausência (○) ou presença (●) de 100 mM de NaCl na solução nutritiva. Os valores indicam a média de quatro repetições e respectivos desvios padrões.

## 4.4. DISCUSSÃO

A imposição do estresse salino nas plantas de noni reduziu o crescimento da parte aérea, a assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, condutância estomática, a transpiração e a eficiência de carboxilação com o aumento dos dias de estresse. Entretanto, manteve a eficiência no uso da água para suprir as restrições hídricas causada pela salinidade. Esses dados corroboram com o de Souza et al. (2014), que também

observaram inibição na produção de massa seca da parte aérea das plantas de noni cultivada em substrato quando irrigado com concentrações crescentes de salinidade de até  $6,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Da mesma forma, a MSPA, a  $A$ , a  $E$ , a  $g_s$  e a  $A/C_i$  em *Ricinus communis* também foram reduzidas com o aumento da concentração de NaCl (0, 50, 100 e 150 mM) na solução nutritiva (Rodrigues et al., 2014). Esses autores atribuíram essas reduções à limitação estomática e ao acúmulo de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ .

As reduções nas taxas fotossintéticas induzidas pela salinidade têm sido atribuídas a limitações estomáticas e não estomáticas (Bezerra et al., 2005; Praxedes et al., 2010). Neste trabalho, a redução na  $A$  causada pelo aumento da salinidade parece estar mais associada à limitação estomática que a demais fatores. A observação que a  $g_s$  foi a variável das trocas gasosas mais sensível aos efeitos do estresse salino e que a  $A/C_i$  não foi afetada pela salinidade corrobora esta hipótese.

A menor disponibilidade de água na folha induzida pela salinidade reduziu a abertura estomática das plantas de noni, a perda de água por transpiração e aumentou a temperatura foliar. No entanto, a EUA que expressa a razão entre a fotossíntese e a quantidade de água transpirada, não diferiu entre os tratamentos, indicando que o efeito do estresse salino sobre a  $A$  e a  $E$  foram semelhantes. Segundo Taiz e Zeiger (2013), o calor emitido pela radiação solar é dissipado nas folhas mediante esfriamento evaporativo durante a transpiração. Assim, a redução na  $E$  devido ao fechamento estomático eleva a  $T_f$ , como reportado em outras culturas (alface - Viana et al., 2004; cana de açúcar - Silva et al., 2013). A elevação da  $T_f$  pode, em contrapartida, diminuir a taxa fotossintética, por efeitos térmicos na eficiência de carboxilação (Machado et al., 2005). No entanto, é importante ressaltar que as reduções na  $g_s$  e na  $E$  têm sido relatadas como mecanismos de tolerância à salinidade por diminuir o consumo de água e retardar o acúmulo de sais na parte aérea das plantas (Silva et al., 2014; Rodrigues et al., 2014).

Para as variáveis de fluorescência de clorofila a não foram observadas alterações significativas. No entanto, os valores de  $F_v/F_m$  no 1° e 30° dias foram menores que 0,725 o que, segundo Critchley (1998), pode ser um indicativo de fotoinibição. Essas alterações provavelmente ocorreram pelo aumento da  $T_f$ , que pode afetar os mecanismos fotossintéticos (Peña-Olmos e Casierra-Posada, 2013). A observação que os menores valores de  $F_v/F_m$  ocorreram concomitantemente aos maiores valores de  $T_f$  corrobora esta hipótese.

Contraditório ao observado para fluorescência da clorofila, a dissipação fotoquímica foi alterada pela salinidade. A salinidade elevou o  $Y_{II}$  aos 30 dias. Resultados contrários foram observados por Azevedo Neto et al. (2011) em diferentes genótipos de milho sob estresse salino. O  $Y_{II}$  é uma importante variável, pois reflete a capacidade da planta em converter energia de fótons em energia química (Klughammer e Schreiber, 2008), ou seja, a proporção de energia usada na produção de NADPH e ATP. No entanto, quando ocorre alta irradiação pode aumentar a temperatura da folha e saturar os centros de reações (Peña-Olmos e Casierra-Posada, 2013). Nesse caso, quando a quantidade de energia absorvida ser maior que a capacidade de utilização para a fotossíntese, ocorre a saturação do processo fotoquímico, resultando em baixa utilização quântica e rendimento fotoassimilatório (Taiz e Zeiger, 2013). Assim, os resultados mostram que as plantas de noni do tratamento de estresse salino, apresentaram uma maior conversão da energia de fótons em energia química em relação às plantas controle. Porém, este aumento do  $Y_{II}$  não se refletiu na taxa fotossintética.

O  $Y_{NO}$  é a proporção da energia luminosa perdida de forma não constitutiva (calor perdido durante a transferência de excitação e fluorescência) pelas antenas do FSII e pode estar associado à fotoinibição e a outros processos do centro de reação do FSII (Dos Anjos et al., 2012), sobretudo quando os centros de reação do FSII estão fechados (Klughammer e Schreiber, 2008). Para a variável  $Y_{NO}$ , observou-se que as plantas do tratamento de estresse apresentaram maiores valores em relação às plantas controle aos 30 e 40 dias, indicando uma maior dissipação na forma de energia térmica durante a transferência de excitação e fluorescência.

O rendimento quântico de dissipação regulado  $Y_{NPQ}$  representa a proporção do excesso de radiação luminosa absorvida que é dissipada na forma de calor pelo ciclo das xantofilas (Klughammer e Schreiber, 2008; Baraldi et al., 2008). As folhas do noni estressadas apresentaram menor  $Y_{NPQ}$  em relação ao controle aos 30 e 40 dias. Entre as diferentes vias de dissipação da energia de excitação avaliadas, a observação que o aumento de  $Y_{NO}$  ocorreu concomitantemente à redução de  $Y_{NPQ}$  indica que a salinidade diminuiu a capacidade de fotoproteção do noni contra o excesso de radiação. A redução dos teores de carotenóides nas plantas estressadas a partir dos 30 dias suporta esta hipótese.

Os teores dos pigmentos fotossintéticos foram reduzidos com a salinidade. Resultados semelhantes foram reportados por Souto et al. (2015) que observaram reduções nos teores dos pigmentos fotossintéticos de noni com o aumento da salinidade da água de irrigação. A redução no teor de clorofila em plantas estressadas por sais pode estar relacionada ao efeito inibidor do acúmulo de íons na biossíntese das diferentes frações de clorofila, na síntese do ácido 5-aminolevulínico, molécula precursora da clorofila (Taiz e Zeiger, 2013), no aumento da atividade da clorofilase, enzima que degrada a clorofila e na redução no número de cloroplastos (Oliveira et al., 2013). No presente estudo, a redução nos teores de clorofila pode está associado aos menores teores de nitrogênio observados nas folhas de noni (dados apresentados no capítulo 3).

A redução nos teores de clorofila nas plantas cultivadas sob condições salinas reduz a atividade fotossintética em plantas de noni (Souto et al., 2015). No entanto, a concentração de clorofila nem sempre é diretamente proporcional à taxa de fotossíntese (Peña-Olmos e Casierra-Posada 2013). Entre os pigmentos, os carotenóides também são constituintes integrais das membranas dos tilacóides e normalmente estão associados às proteínas que formam o maquinário fotossintético protegendo as plantas de danos causados pelo excesso de luz (Taiz e Zeiger, 2013). Nas plantas sob estresse, os carotenóides também podem atuar como agentes antioxidantes protegendo os lipídios das membranas dos tilacóides contra o estresse oxidativo (Li et al., 2010).

A presença dos sais na rizosfera das plantas induz o estresse osmótico e diminui a absorção de água pelas plantas (Munns e Tester, 2008). Em estudos com estresse salino é importante determinar o teor relativo de água (TRA) e a percentagem de integridade absoluta (PIA) das membranas, por estarem relacionados com o grau de hidratação das plantas (Pimentel et al., 2002). No presente estudo, observou-se que a salinidade não afetou o TRA, mas a PIA reduziu com o tempo de exposição à salinidade. Suárez (2011) relata que em curto prazo o acúmulo de íons proporcionou uma força motriz osmótica para a absorção de água em plantas de *Ipomoea pescaprae* sob estresse salino. O acúmulo de solutos (orgânicos e inorgânicos) é o mecanismo responsável pela diminuição do potencial osmótico da célula mantendo o gradiente de potencial hídrico (Munns e Tester, 2008). Por outro lado, os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  são tóxicos e seu acúmulo pode causar sérios danos nas plantas (Munns e Tester, 2008). Neste estudo, os dados

evidenciam que sob condições de estresse salino, as plantas de noni ajustaram-se osmoticamente, visto que nenhum efeito de déficit hídrico foi determinado pelo TRA. A redução da  $g_s$  e da  $E$  indica que o fechamento estomático favoreceu a manutenção da hidratação das plantas do tratamento de estresse salino, o que foi evidenciado pela manutenção da EUA.

A redução na integridade absoluta das membranas avaliada pelo extravasamento de eletrólitos também foi observada em *Brassica napus* e *Ananas porteanus* em função do aumento das concentrações de sais na água de irrigação (Ashraf e Ali, 2008; Mendes et al., 2011). Segundo Mendes et al. (2011), a redução na PIA reflete a extensão da peroxidação de lipídios causados por espécies reativas de oxigênio. Ashraf e Ali (2008) observaram que o aumento da integridade das membranas em plantas tolerantes a salinidade de *Brassica napus* está relacionada ao aumento da atividade das enzimas antioxidantes.

#### 4.5. CONCLUSÕES

A salinidade afeta a produção de massa seca na parte aérea, as trocas gasosas, os teores de pigmentos e os danos membranares em plantas de noni, mas não acarreta alterações substanciais na emissão de fluorescência da clorofila a e no teor relativo de água. O estresse salino também diminuiu a capacidade de fotoproteção do noni pelo ciclo das xantofilas. A análise dos dados sugere que o noni apresenta como mecanismo de tolerância à salinidade o fechamento estomático, diminuindo a perda de água pela transpiração e mantendo o status hídrico da planta.

#### 4.6. REFERÊNCIAS

Ashraf M, Ali Q (2008). Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). Environ. Exp. Bot. 63(1):266-273.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.008>

Azevedo Neto AD, Perreira PPA, Costa DP, Santos ACC (2011). Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salt-stress tolerance screening in the sunflower. *Rev. Ciênc. Agron.* 42(4):893-897.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000400010>

Baraldi R, Canaccini F, Cortes S, Magnani F, Rapparini F, Zamboni A (2008). The role of xanthophyll cycle-mediated photoprotection in *Arbutus unedo* plants exposed to water stress during the Mediterranean Summer. *Photosynth. Res.* 46(3):378-386.

<http://dx.doi.org/10.1007/s11099-008-0069-x>

Barr HD, Weatherley PE (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* 15:413-428.

<http://dx.doi.org/10.1071/BI9620413>

Bezerra AKP, Lacerda CF, Hernandez FFF, Silva FB, Gheyi HR (2010). Cowpea/corn crop rotation utilizing waters of different salinities. *Cienc. Rural.* 40(5):1075-1082.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010000500012>

Bezerra MA, Lacerda CF, Prisco JT, Gomes Filho E (2005). Growth and photosynthesis of young dwarf cashew plants grown under salt stress. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.* 9:90-94.

[http://www.agriambi.com.br/revista/suplemento/index\\_arquivos/PDF/090.pdf?](http://www.agriambi.com.br/revista/suplemento/index_arquivos/PDF/090.pdf?)

BRASIL (2007). Ministério da Integração nacional. Câmara dos deputados. Nova delimitação do Semiárido Brasileiro. Estudo. Brasília. DF. p.24.

Chan-Blanco Y, Vaillant F, Perez AM, Reynes M, Brillouet J-M, Brat P (2006). The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): A review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. *J. Food Compos. Anal.* 19:645-654.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2005.10.001>



Costa AB, Oliveira AMC, Silva AMO, Macini-Filho J, Lima A (2013). Atividade antioxidante da polpa, casca e sementes do noni (*Morinda citrifolia* Linn). Rev. Bras. Frutic. 35(2):345-354.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452013000200003>

Critchley C (1998). Photoinhibition. In: Raguavendra, A. S. (ed.). Photosynthesis: a comprehensive treatise. Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom, p. 264-272.

Dos Anjos L, Oliva MA, Kuki KN (2012). Fluorescence imaging of light acclimation of Brazilian Atlantic forest tree species. Photosynth. Res. 50(1):95-108.

<http://dx.doi.org/10.1007/s11099-012-0018-6>.

Furlani PR (1998). Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pela técnica de hidroponia - NFT. Campinas: Instituto Agrônômico, (Boletim Técnico, 168).

Gonçalves ER, Ferreira VM, Silva JV, Endes L, Barbosa TP, Duarte WG (2010). Gas exchange and chlorophyll a fluorescence of sugarcane varieties submitted to water stress. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental. 14(4):378-386.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000400006>

Iqbal N, Umar S, Khan NA, Khan MIR (2014). A new perspective of phytohormones in salinity tolerance: Regulation of proline metabolism. Environ. Exp. Bot. 100:34-42.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.12.006>

Kalaji HM, Oukarroum A, Alexandrov V, Kouzmanova M, Brestic M, Zivcak M, Samborska IA, Cetner MD, Allakhverdiev SI, Goltsev V (2014). Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by *in vivo* chlorophyll a fluorescence measurements. Plant Physiol. Biochem. 81:16-25.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.03.029>.

Klughammer C, Schreiber U (2008). Complementary PSII quantum yield calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and saturation pulse method. PAM Application Notes 1:27-35.

<http://www.walz.com/downloads/pan/PAN11001.pdf>

Kramer DM, Johnson G, Kiirats O, Edwards GE (2004). New fluorescence parameters for the determination of QA redox stat and excitation energy fluxes. *Photosynth. Res.* 79:209-218.

<http://dx.doi.org/10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d>

Li G, Wan S, Zhou J, Yang Z, Qin P (2010). Leaf chlorophyll fluorescence, hyperspectral reflectance, pigments content, malondialdehyde and proline accumulation responses of castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings to salt stress levels. *Ind. Crop. Prod.* 31:13-19.

<http://dx.doi:10.1016/j.indcrop.2009.07.015>

Lichtenthaler HK, Buschmann C (2001). Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Curr. Protoc. Food Anal. Chem.* F4.3.1-F4.3.8.

<http://dx.doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>

Machado EC, Schmidt PT, Medina CL, Ribeiro RV (2005). Photosynthetic responses of three citrus species to environmental factors. *Pesq. Agropec. Bras.* 40(12):1161-1170.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2005001200002>

Mendes BSS, Willadino L, Cunha PC, Oliveira-Filho RA, Camara TR (2011). Physiological and biochemical mechanisms of ornamental pineapple under salt stress. *Rev. Caatinga.* 24(3):71-77.

<http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/view/1956>

Munns R, Tester M (2008). Mecanismos of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 59, 651-681.

<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

Nelson SC, Elevitch CR (2006). Workshop manual to supplement noni: The complete guide for consumers and growers for noni processing, marketing, and field training workshop for YAP. Permanent Agriculture Resources, Holualoa, Hawaii. 18p.

<http://www.amazon.com/Noni-Complete-Guide-Consumers-Growers/dp/0970254466>

Oliveira VP, Marques EC, Lacerda CF, Prisco JT, Gomes-Filho E (2013). Physiological and biochemical of *Sorghum bicolor* and *Sorghum sudanense* subjected to salt stress in two stages of development. Afr. J. Agric. Res. 8(8):660-670.

<http://dx.doi.org/10.5897/AJAR12.861>

Peña-Olmos JE, Casierra-Posada F (2013). Chlorophyll fluorescence in partially defoliated grape plants (*Vitis vinifera* L. cv. chardonnay). Rev. Fac. Nal. Agr. 66(1):6881-6889.

<http://www.redalyc.org/html/1799/179928411005/index.html>

Pimentel C, Sarr B, Diouf O, Abboud ACS, Roy-Maculey H (2002). Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivadas em campo. Rev. Ciênc.Vida. 22(1):07-14.

Praxedes SC, Lacerda CF, Damatta FM, Prisco JT, Gomes-Filho E (2010). Salt tolerance is associated with differences in ion accumulation, biomass allocation and photosynthesis in cowpea cultivars. J. Agro. Crop. Sci. 196:193-204.

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00412.x>

Rodrigues CRF, Silva EN, Moura RM, Anjos DC, Hernandez FFF, Viégas RA (2014). Physiological adjustment to salt stress in *R. communis* seedlings is associated with a probable mechanism of osmotic adjustment and a reduction in water lost by transpiration. Ind. Crops Prod. 54:233-239.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.041>

Rohàček K, Barták M (1999). Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: basic concepts, useful parameters, and some applications. Photosynth. Res. 37(3):339-363.

<http://dx.doi.org/10.1023/A:1007172424619>

Silva EN, Ribeiro RV, Ferreira-Silva SL, Viégas RA, Silveira JAG (2011). Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. *Sci. Agric.* 68(1):62-68.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000100010>

Silva LA, Brito MEB, Sá FVS, Moreira RCL, Soares Filho WS, Fernandes PD (2014). Physiological mechanisms in citrus hybrids under saline stress in hydroponic system. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.* 18:1-7.

<http://www.agriambi.com.br/revista/v18ns/v18nsa01.pdf>

Silva MA, Jifon J L, Santos CM, Jadoski CJ, Silva JAG (2013). Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 56(5):735-748.

<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132013000500004>

Snedecor GW (1956). *Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology*. 5.ed. Ames: The Iowa State College Press, 534 p.

Souto AGL, Cavalcante LF, Diniz BLMT, Mesquita FO, Nascimento JAM, Lima Neto AJ (2015). Saline water and bovine biofertilizer on yield and biomass allocation in noni plant (*Morinda citrifolia* L.). *Rev. Bras. Pl. Med.* 17(2):340-348.

[http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/13\\_03](http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/13_03)

Souto AGL, Cavalcante LF, Lima Neto AJ, Mesquita FO, Santos JB (2016). Biometrics in noni plants under irrigation with saline water and the leaching of salts from the soil. *Rev. Ciênc. Agon.* 47(2):316-324.

<http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160037>

Suárez N (2011). Effects of short-and long-term salinity on leaf water relations, gas exchange, and growth in *Ipomoea pes-caprae*. *Flora.* 206(3):267-275.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2010.05.006>

Taiz L, Zeiger E (2013). Fisiologia vegetal. Artmed, Porto Alegre, BR. 918 p.

Viana SBA, Fernandes NPD, Gheyi HR, Soares FAL, Carbeiro PT (2004). Morphophysiological indices and production of lettuce under saline stress. Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient. 8(1):23-30.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100004>

Wang H, Wang FL, Wang G, Majourhat K (2007). The responses of photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of nectarine (*Prunus persica* var. nectarina maxim) to greenhouse and field grown conditions. Sci. Hortic. 112(1):66-72.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.007>

## CAPÍTULO 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de solos afetados pela salinidade e/ou o aproveitamento de água de qualidade inferior na agricultura, pode ser mais uma alternativa para manter a produção agrícola e renda aos produtores, minimizando a migração das populações rurais para áreas urbanas. O problema de salinidade ocorre principalmente em regiões áridas e semiáridas onde pesquisadores e agricultores têm utilizado como estratégia de manejo a introdução de espécies ou cultivares resistente à salinidade.

A resposta das plantas ao estresse salino é muito complexa, em virtude da grande diversidade de mecanismos de aclimatação e adaptação. Na literatura há relatos de mudanças fisiológicas e bioquímicas como mecanismos de tolerância das plantas à salinidade. Entre esses, pode-se destacar a redução da área foliar, condutância estomática e transpiração, bem como o acúmulo de solutos orgânicos (carboidratos, aminoácidos, prolina e proteínas) e inorgânicos ( $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ).

O noni por ser uma fruta com importância fitoterapêutica e boa adaptação às diversas condições ambientais surge como uma opção de estudos em condições salinas. Nesta pesquisa, a salinidade afetou o crescimento, as trocas gasosas, o status hídrico, a fluorescência da clorofila a e os teores de pigmentos fotossintéticos e de solutos orgânicos e inorgânicos.

Nas variáveis de crescimento a salinidade diminuiu o diâmetro do caule, a altura, o número de folhas e a produção de massa seca das folhas, caules e raízes. Em contraste, a salinidade aumentou o índice de esclerofilia e a suculência, mas não alterou o teor relativo de água.

Das variáveis de trocas gasosas, a fotossíntese, a condutância estomática e a transpiração diminuíram com a salinidade, mas manteve a eficiência do uso da água. Portanto, os dados sugerem que o noni apresenta como mecanismo de tolerância à salinidade o fechamento estomático, diminuindo a perda de água pela transpiração e mantendo o status hídrico o que foi confirmado pela manutenção do TRA.

A salinidade não acarretou alterações substanciais nas variáveis relacionadas com a eficiência quântica potencial ( $F_v/F_m$ ,  $F_0$  e  $F_m$ ). Para as variáveis

da eficiência quântica efetiva ( $Y_{II}$ ,  $Y_{NO}$  e  $Y_{NPQ}$ ), a salinidade aumentou a dissipação de energia térmica e de fluorescência durante a transferência de excitação. Por outro lado, a fração da radiação que é dissipada na forma de calor pelo ciclo das xantofilas diminuiu com o estresse salino. Entre as diferentes vias de dissipação da energia de excitação avaliadas, a observação que o aumento de  $Y_{NO}$  ocorreu concomitantemente à redução de  $Y_{NPQ}$  indica que a salinidade diminuiu a capacidade de fotoproteção do noni contra o excesso de radiação. Esta hipótese pode ser suportada pela observação que a salinidade também reduziu os teores de carotenóides.

Para os teores de solutos inorgânicos o noni não apresentou mecanismos de restrição ao transporte de  $Na^+$  e  $Cl^-$  para as folhas, as quais apresentaram as maiores concentrações destes íons. Entretanto, os dados obtidos foram extremamente altos, sugerindo a ocorrência de compartimentalização de  $Na^+$  e  $Cl^-$  no vacúolo. Além disso, o aumento dos teores  $Na^+$  e  $Cl^-$  induziu o desequilíbrio nutricional nos teores de N, P e  $K^+$  nas plantas de noni, principalmente na relação  $K^+/Na^+$ . Assim, o aumento da salinidade causou alterações na homeostase iônica das plantas de noni o que pode, ao menos em parte, explicar a redução do crescimento induzida pelo sal.

Os resultados também mostraram que, quantitativamente, os carboidratos solúveis e os aminoácidos livres são os principais solutos orgânicos que contribuem para o potencial osmótico da célula em plantas de noni e a prolina, embora não contribua substancialmente para o potencial osmótico, deve desempenhar outro papel na aclimação das plantas de noni ao estresse salino e/ou é uma indicadora dos distúrbios metabólicos induzidos pela salinidade.

O grau de tolerância à salinidade e a intensidade do estresse salino são fatores chave no cultivo das espécies tanto em condições controladas como nas áreas afetadas pelos sais. Dessa forma, o estudo em solução nutritiva e em casa de vegetação tem uma importância fundamental nas pesquisas que objetivam o conhecimento dos mecanismos fisiológicos e bioquímicos nas espécies vegetais. Essas condições permitem um maior controle, tanto do ambiente radicular como uma maior uniformidade das variáveis climáticas, as quais podem interferir significativamente nos resultados e conclusões deste tipo de pesquisa. Assim, o isolamento do efeito da salinidade dos demais fatores é essencial para a precisão da pesquisa.

Todavia, torna-se necessário a elaboração de novos trabalhos com o cultivo do noni em condições de campo, visando definir o nível de tolerância da cultura à salinidade no solo e na água de irrigação, bem como as possíveis técnicas de manejo do solo e da água que possibilitem uma produção viável. Outra sugestão de pesquisa é a avaliação da influência da salinidade na qualidade e quantidade dos compostos fitoterapêuticos.