

**CLÉOMA GUIMARÃES DE JESUS**

**ESTRESSE SALINO EM RÚCULA (*Eruca sativa* Mill.) HIDROPÔNICA:  
ASPECTOS FISIOLÓGICOS, BIOQUÍMICOS E NUTRICIONAIS**

**RECIFE  
2011**

**CLÉOMA GUIMARÃES DE JESUS**

**ESTRESSE SALINO EM RÚCULA (*Eruca sativa* Mill) HIDROPÔNICA:  
ASPECTOS FISIOLÓGICOS, BIOQUÍMICOS E NUTRICIONAIS**

**Orientador(a):**

**Dra. Lilia Gomes Willadino**

**Co-orientador:**

**Dr. Ênio Farias de França e Silva**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração: Engenharia de água e solo.

**RECIFE  
2011**

# **CLÉOMA GUIMARÃES DE JESUS**

## **Estresse salino em Rúcula (*Eruca sativa* mill) hidropônica: Aspectos fisiológicos, bioquímicos e nutricionais**

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 18 / 02 / 2011

### **Orientadora:**

---

Profa. Dra. Lilia Gomes Willadino  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco) - Titular

### **Examinadores:**

---

Profa. Dra. Terezinha Rangel Camara  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco) – Titular

---

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco) - Titular

---

Prof. Dr. Dimas Menezes  
(Universidade Federal Rural de Pernambuco) – Titular

*Dedico este trabalho aos meus pais, pelo incentivo, cooperação e apoio que me deram, compartilhando comigo os momentos de alegrias e de tristezas, nesta etapa, em que, com a graça de Deus, está sendo vencida.*

“As dificuldades não foram poucas ...

Os desafios foram muitos ...

Os obstáculos, muitas vezes, pareciam intransponíveis.

Muitas vezes nos sentimos só, e, assim estivemos ...

O desânimo quis contagiar, porém, a garra e a tenacidade foram mais fortes sobrepondo esse sentimento, fazendo-nos seguir a caminhada, apesar da sinuosidade do caminho.

Agora, ao olharmos para trás, a sensação de dever cumprido se faz presente e podemos constatar que as noites de sono perdidas... O cansaço... os longos tempos de leitura, digitação, discussão; a ansiedade em querer fazer e a angústia de muitas vezes não o conseguir ... Não foram em vão.

Aqui estamos, como sobrevivente de uma longa batalha, porém, muito mais fortes e hábeis, com coragem suficiente para mudar nossa postura, apesar de todos os obstáculos ...”

(Autor Desconhecido)

Como dizia *Antoine Saint Exupéry* em sua obra prima *O Pequeno Príncipe* :

**“Foi o tempo que perdeste com a tua rosa, que fez a tua rosa tão importante.”**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me garantido serenidade, paciência e perseverança, guiando-me por caminhos desafiadores, porém seguros, abrindo-me as portas em todos os momentos em que precisei de luz, e colocando ao meu lado pessoas que sempre me ajudaram a levantar nos momentos onde a queda fez parte do aprendizado em minha jornada.

Aos meus queridos pais, Daniel de Jesus e Inez Inilda Guimarães de Jesus, que me deram força no decorrer desta caminhada, que se estendeu por estes dois anos e que apesar de tanto tempo separados jamais deixaram de estar presentes em toda a minha trajetória, compartilhando as minhas conquistas e me confortando em meus momentos de dor e que hoje finalizo com muito esforço e dedicação.

Aos meus irmãos Danielson, Graciela e Lucrecia pela felicidade de tê-los como irmãos, por compreenderem a razão da minha ausência, por saber que sempre poderei contar com vocês.

Em especial, à minha orientadora Lilia Willadino, que me acompanhou e com sua sabedoria contribuiu para a realização deste trabalho, bem como pela sua colaboração nos momentos de aprendizagem constante e pela amizade solidificada, que, certamente se eternizará e pela confiança a mim depositada.

Aos amigos Fernando José da Silva Júnior e Gledson Luis pela grande contribuição nesse trabalho e disponibilidade sempre que precisei. Espero ter sido capaz de representar de maneira justa os esforços por vocês depositados na realização desta pesquisa, impossível sem a sua ajuda e participações. Muito obrigado.

A todos os professores que contribuíram na minha formação acadêmica e profissional; aos amigos e colaboradores que me ajudaram na conclusão deste trabalho.

Aos todos os meus amigos e companheiros de curso, que juntos vivenciamos momentos muito especiais de nossas vidas.

Aos funcionários da PPG – DTR pela paciência e auxílio durante o curso.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

A UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela insigne formação acadêmica;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de recursos financeiros indispensáveis a realização deste trabalho de pesquisa.

**Minha sincera gratidão, hoje e sempre!**

# SUMÁRIO

|   |     |
|---|-----|
| LISTA DE FIGURAS  | I   |
| LISTA DE TABELAS  | III |
| RESUMO  | IV  |
| ABSTRACT  | V   |
| 1 INTRODUÇÃO  | 6   |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA                                       | 8   |
| 2.1 A Cultura   | 8   |
| 2.2 Salinidade  | 9   |
| Efeito da Salinidade sobre a Nutrição Mineral                 | 10  |
| Efeito da Salinidade sobre a síntese de Osmólitos Compatíveis | 12  |
| 2.3 Estresse Oxidativo  | 13  |
| 2.4 Enzimas Antioxidantes                                     | 14  |
| 2.5 Cultivo Hidropônico do Tipo NFT                           | 15  |
| 2.6 Utilização de Água Salobra no Cultivo Hidropônico         | 17  |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS  | 20  |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO                                      | 29  |
| 5 CONCLUSÕES  | 53  |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                  | 54  |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Figura 1</b> - Vista frontal da casa-de-vegetação (A); e Interior da Casa de Vegetação (B) onde foi conduzido o experimento.  | 15   |
| <b>Figura 2.</b> - Planta baixa do experimento.  | 16   |
| <b>Figura 3</b> - Perfil do sistema hidropônico.   | 17   |
| <b>Figura 4</b> - Vista das parcelas experimentais (A), eletrobomba de circulação(B) e sistema injetor/retorno (C).  | 18   |
| <b>Figura 5</b> - Berçário hidropônico com mudas aos 2 DAS (A) e aos 15 DAS (B).   | 19   |
| <b>Figura 6.</b> Distribuição das variedades de rúcula no perfil hidropônico.  | 20   |
| <b>Figura 7.</b> Valores médios da CE da Solução Nutritiva dos seis tratamentos no período de 22 DAT.  | 24   |
| <b>Figura 8</b> – Consumo hídrico das plantas de rúcula, no período de 22 DAT, em função da salinidade.  | 25   |
| <b>Figura 9</b> - Peso fresco da parte aérea (A), peso seco da parte aérea (B) e da raiz (C) de plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.        | 27   |
| <b>Figura 10</b> - Número médio de folhas de plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.   | 28   |
| <b>Figura 11</b> - Altura média de plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.   | 29   |
| <b>Figura 12</b> - Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) (A) e Taxa Crescimento relativo (TCR) (B) em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.      | 30   |
| <b>Figura 13</b> - Plantas de rúcula submetidas a diferentes concentrações de NaCl na solução nutritiva.   | 31   |
| <b>Figura 14</b> - Conteúdo de prolina em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.   | 32   |
| <b>Figura 15</b> – Teor de Proteína Solúvel Total em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.  | 33   |
| <b>Figura 16</b> - Conteúdo de clorofila a (A), de clorofila b (B) e conteúdo de clorofila total (C) em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade. | 34   |



|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 17</b> – Teores de Sódio da Parte Aérea e da Raiz em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.                                    | 36 |
| <b>Figura 18</b> – Teores de Cloreto da Parte Aérea em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.  | 37 |
| <b>Figura 19</b> - Sintomas de toxidez do NaCl em folhas de rúcula  | 38 |
| <b>Figura 20</b> – Teores de Potássio da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.                         | 39 |
| <b>Figura 21</b> – Teores de relação $\text{Na}^+/\text{K}^+$ da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade. | 40 |
| <b>Figura 22</b> – Teores de Cálcio da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada, em função da salinidade.                          | 41 |
| <b>Figura 23</b> – Teores de Magnésio da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.                         | 42 |
| <b>Figura 24.</b> Teores de Fósforo da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.                           | 44 |
| <b>Figura 25</b> – Atividade da enzima Catalase em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada, em função da salinidade.  | 45 |
| <b>Figura 26</b> – Atividade das enzimas APX e PPO em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada, em função da salinidade.   | 46 |

## LISTA DE TABELAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabela 1 - Quantidade de NaCl usada na água para atingir os diferentes níveis de CE dos tratamentos, aos quais foram submetidas as plantas de rúcula                                      | 19   |
| Tabela 2. Quantidade de fertilizante utilizado como fonte de macro e micronutrientes para o preparo de 1000 L de solução nutritiva para o cultivo hidropônico de folhosas (FURLANI, 1998) | 20   |

## RESUMO

A salinidade é um dos estresses abióticos que mais limita o crescimento e a produtividade das culturas agrícolas em todo o mundo. Estudos científicos demonstram que práticas convencionais destinadas à solução do problema da salinização são onerosas e ineficientes e, na maioria das vezes, inviáveis sob o ponto de vista econômico. Nesse cenário, a hidroponia pode ser uma alternativa à utilização de águas salinas, além de ser uma prática favorável à conservação do solo e preservação dos mananciais de água. Para avaliar o desempenho de duas cultivares de rúcula Folha Larga e Cultivada estas foram submetidas a diferentes níveis de salinidade 0, 20, 40, 60, 80 e 100 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl na solução nutritiva, em sistema hidropônico. A salinidade influenciou negativamente todos os parâmetros fisiológicos de ambas as cultivares, como a taxa de crescimento absoluto e relativo, peso seco e fresco da parte aérea e raiz e altura, com exceção do número total de folhas que não apresentou correlação com o fator salinidade. Os elevados teores de sódio e cloreto, na parte aérea e raízes, das plantas submetidas ao estresse salino provocaram uma redução significativa dos teores de potássio, cálcio, magnésio, e fósforo em ambas as variedades. O estresse salino provocou simultaneamente uma redução nos teores de proteína total e um aumento nos teores de prolina livre. O incremento do teor de clorofila “a” e “b” em função do aumento dos níveis de salinidade reflete a ativação de um mecanismo de defesa contra o estresse salino, além do incremento da atividade das enzimas do sistema antioxidante, como catalase e peroxidase do ascorbato e polifenoloxidase.

Palavras-chave: salinidade, hidroponia, nutrição mineral e enzimas.

## ABSTRACT

Salinity is one of the abiotic stresses that limit to growth and productivity of agricultural crops worldwide. Scientific studies show that conventional practices aimed at solving the problem of salinization is costly and inefficient and in most cases, not viable under the economic point of view. In this scenario, hydroponics can be an alternative to the use of saline water, besides being a practice conducive to soil conservation and preservation of water sources. To evaluate the performance of two varieties of broadleaf and Cultivated arugula they were subjected to different salinity levels of 0, 20, 40, 60, 80 and 100 mol.m<sup>-3</sup> NaCl to the nutrient solution in hydroponic systems. Salinity negatively affected all physiological parameters of both cultivars, the rate of absolute and relative growth, dry weight and piece fresh root aera and height and, except for the total number of leaves that did not correlate with the salinity factor. The high levels of sodium and chloride in the shoots and roots of plants subjected to salt stress caused a significant reduction in potassium, calcium, magnesium, and phosphorus in both varieties. Salt stress caused a reduction in both total protein and increase the concentration of free proline. The increase of chlorophyll "a" and "b" with increasing levels of salinity reflects the activation of a defense mechanism against salt stress, in addition to increasing the activity of enzymes of antioxidant system, catalase and peroxidase ascorbate and polyphenol.

**Keywords:** salinity, hydroponics, nutrition and enzymes.

## 1 INTRODUÇÃO

A salinidade é um dos fatores ambientais que mais limita o crescimento e interfere na nutrição mineral das culturas agrícolas, devido à redução do potencial osmótico da solução diminuindo a disponibilidade de água para as plantas, além de proporcionar efeito tóxico de certos íons às plantas.

Estima-se que 20% das terras cultivadas no mundo e aproximadamente metade das terras irrigadas estejam afetadas por sais (SAIRAM & TYAGI, 2004). Esse problema é mais grave nas regiões áridas e semiáridas onde as condições edafoclimáticas, como baixa pluviosidade e elevada demanda evaporativa potencializam os riscos de salinização dos solos, além do material de origem dos solos, irrigação mal conduzida e drenagem inadequada.

Em ambientes salinos, o NaCl é o sal predominante e o que causa maiores danos às plantas devido à absorção excessiva dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , e ao aumento da pressão osmótica que dificulta a absorção de água pelas plantas, levando ao fenômeno conhecido como “seca fisiológica”, diminuindo, conseqüentemente, a absorção dos nutrientes. Assim, deficiências de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  podem ser induzidas por excesso de  $\text{Na}^+$  (MARSCHNER, 2002) além da alta concentração salina no meio poder afetar a absorção de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e a assimilação de nitrogênio necessária à síntese protéica (DEBOUBA et al., 2006).

A resposta da planta ao excesso de sal é complexa e envolve alterações na sua morfologia, fisiologia, metabolismo e anatomia. Os mecanismos fisiológicos das plantas que favorecem a sobrevivência em ambientes salinos incluem a regulação da concentração e compartimentalização dos íons, ativação de enzimas antioxidativas, adaptação estomática (BRILHANTE, 2006), aumento na produção de osmorreguladores, como prolina (HANSON et al., 1977) e/ou carboidratos solúveis (OLIVEIRA et al., 2006) para reduzir o potencial osmótico das células e favorecer a absorção da água; retenção de íons nas raízes (MUNNS, 2002), evitando níveis tóxicos no aparato fotossintético. A prolina acumulada durante estresses ambientais pode atuar como mediador do ajustamento osmótico, estabilizador de proteínas (VAN RENSBURG et al., 1993) e removedor de espécies reativas de oxigênio (ROS) (SMIRNOFF; CUMBES, 1989).

O estresse salino gera o estresse oxidativo, propiciando o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS) que afetam o metabolismo das plantas devido à peroxidação de lipídios de membrana, proteínas e ácidos nucleicos, além de inibir processos fisiológicos como a fotossíntese e a respiração (SCANDALIOS, 2005). As plantas possuem mecanismos para

proteger a célula e as estruturas subcelulares dos efeitos das ROS, utilizando um sistema antioxidante, constituído de componentes enzimáticos e não-enzimáticos, que são encontrados em diferentes organelas como cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos (PANG & WANG, 2008) e capazes de agir contra as ROS, interrompendo as cascatas de oxidação.

A intensidade dos efeitos causados pela salinidade nas plantas varia com a espécie vegetal, o genótipo dentro de uma mesma espécie, o estágio de desenvolvimento, a intensidade e duração do estresse ao qual a planta é submetida, e demais condições ambientais.

Devido à crescente necessidade de preservação ambiental e de economia de água, muitas pesquisas têm investigado a possibilidade de uso de água salina nos sistemas hidropônicos de cultivo para a produção de hortaliças (VAN OS, 1999). A eficiência de aplicação de água salina para a irrigação das culturas em sistemas de cultivos sem solo depende também do uso de espécies tolerantes (DASGAN et al., 2002).

Estudos realizados sobre a tolerância de várias espécies à salinidade em sistema de cultivo hidropônico têm demonstrado que, mediante manejos adequados da água e das práticas de cultivo, pode-se produzir comercialmente com água salina (CARUSO, VILLARI, 2004; SAVVAS et al., 2007; AL-KARAKI et al., 2009). Neste sentido, em sistemas hidropônicos, espera-se que culturas, sobretudo de ciclo rápido, produzam satisfatoriamente proporcionando o uso sustentável de águas salobras.

Diante do exposto e da escassez de informações sobre a tolerância da rúcula à salinidade este trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes concentrações salinas sobre parâmetros fisiológicos e bioquímicos em duas cultivares de rúcula cultivadas em sistema hidropônico do tipo NFT (técnica de fluxo laminar de nutrientes).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A Cultura

A rúcula (*Eruca sativa* Mill) é uma hortaliça folhosa pertencente à família Brassicaceae. Originária da região mediterrânea e conhecida desde a antiguidade, onde o primeiro registro data do século I, encontrado no herbário grego Dioscorides (MORALES & JANICK, 2002). Também chamada de mostarda persa, agrião mostarda ou pinchão, possui folhas de sabor picante que são utilizadas cruas em saladas, normalmente em misturas com outras hortaliças de folhas. Rica em vitamina C e A, potássio, enxofre, cálcio e ferro, apresenta efeitos anti-inflamatório e desintoxicante para o organismo humano (TRANI; PASSOS, 2005).

A semente é utilizada como fonte de óleo na Índia e na tradicional fitoterapia, com vários propósitos (HARDER, 2004). É uma hortaliça de porte baixo, possui normalmente altura de 15 a 20 cm, com folhas compridas, pouco espessas de coloração verde escura o limbo recortado distribui-se em torno do eixo principal formando roseta. No Brasil, seu consumo vem crescendo e sua área cultivada está em expansão (SALA et al., 2004). Embora sendo uma planta mais adaptada a condições de clima temperado, tem sido semeada ao longo do ano, em numerosas regiões brasileiras (FILGUEIRA, 2000). O cultivo de rúcula nas condições do Trópico Úmido de Belém (PA), sob alta temperatura e umidade do ar, apresentou desenvolvimento normal comparável ao de regiões de temperaturas amenas (GUSMÃO et al., 2003).

A espécie mais cultivada no Brasil é a *E. sativa* Mill, representada principalmente pelas cultivares Rúcula Cultivada e Folha Larga, sendo a primeira mais conhecida. A época de plantio é entre os meses de março a agosto. Recomenda-se espaçamento de 0,25 a 0,30 m entre sulcos e 0,05 m entre plantas, com desbaste quando as plantas apresentarem 0,10 m de altura. A colheita tem início a partir do 25º dia após a semeadura cortando-se as folhas rente ao solo, mas o mercado de alguns estados (PR, RJ, SP, MG, dentre outros) prefere plantas inteiras, após a eliminação das folhas senescentes (MAKISHIMA, 1993). Após o período de 40 a 50 dias após a semeadura as folhas começam a ficar fibrosas e impróprias para o consumo, pois a planta inicia o estágio reprodutivo. No período entre os 110 e 130 dias após a semeadura tem início a colheita das sementes, com duração de aproximadamente 25 dias (TRANI et al., 1992; MINAMI & TESSARIOLI NETO, 1998). Em cultivos comerciais, a rúcula é colhida de uma só vez, arrancando-se as plantas inteiras com folhas e raízes. Porém,

ela pode ser colhida diversas vezes, cortando-se as folhas acima da gema apical, onde haverá rebrota, possibilitando um novo corte. A produtividade e o valor comercial das folhas, entretanto, vão diminuindo com os sucessivos cortes. Em média, pode-se obter dois a três cortes da cultura. O número de cortes, após cada rebrota, depende do vigor da cultura. Seu ciclo e forma de condução assemelham-se muito aos de espécies como alface e coentro, amplamente cultivados no Brasil. Para o comércio, as folhas de rúcula devem estar com 15 a 20 cm de comprimento, bem desenvolvidas, verdes e frescas (MINAMI & TESSARIOLO NETO, 1998) sendo comercializadas em maços.

A adubação da rúcula é realizada basicamente com adubos orgânicos, fósforo no plantio e coberturas nitrogenadas durante o ciclo (NARDIN et al., 2002; REGHIN et al., 2002; SANTOS et al., 2002), condição semelhante à utilizada em alface. Com relação à necessidade hídrica, a cultura não suporta o excesso de água de chuva torrencial ou irrigação excessiva superando 20 litros de água por metro quadrado por dia (TRANI et al., 1992; PIMPINI & ENZO 1997).

As hortaliças, de um modo geral, são sensíveis à salinidade e devido ao uso indevido de sistemas de irrigação que favorecem o aumento das áreas salinizadas, há uma necessidade de se produzir culturas que sejam mais tolerantes à salinidade (FILGUEIRA, 2002; FAO, 2010).

## **2.2 Salinidade**

O termo salinidade refere-se à existência de níveis de sais solúveis no solo que podem prejudicar, significativamente, o rendimento das plantas cultivadas e alterar de forma negativa as propriedades do solo (RIBEIRO et al., 2007, MUNNS & TESTER, 2008). Estima-se que 20% das terras cultivadas no mundo e aproximadamente metade das terras irrigadas estejam afetadas por sais (SAIRAM & TYAGI, 2004). Esse problema é mais grave nas regiões áridas e semi-áridas onde a baixa pluviosidade e a elevada demanda evaporativa contribuem decisivamente para o agravamento da salinização dos solos (VIÉGAS et al., 2001; MUNNS, 2002). No Nordeste brasileiro são aproximadamente nove milhões de hectares salinizados destacando-se o estado da Bahia, com a maior área de solos afetados por sais, aproximadamente 44% de sua área, seguido do Ceará, com aproximadamente 25 % (RIBEIRO et al., 2003).



A salinidade é um dos estresses abióticos que mais afeta, negativamente, a produtividade agrícola em todo o mundo (VIANA et al., 2004). A redução da produtividade das culturas está diretamente relacionada a três principais efeitos: o fechamento estomático que limita a assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, consequência dos efeitos osmóticos resultante do acúmulo de sais no substrato; a inibição da expansão foliar que reduz a área fotossintetizante, consequência do acúmulo excessivo de íons tóxicos, de distúrbios na nutrição mineral e/ou da redução na turgescência; e a aceleração da senescência de folhas maduras que também reduz a produção de fotoassimilados (BERNSTEIN et al., 1993; MUNNS, 2002; LACERDA et al., 2003). Os distúrbios metabólicos provocados pelo estresse salino interferem nos principais processos da planta, como a fotossíntese, síntese de proteína, metabolismo lipídico, e biossíntese de metabólitos secundários (PARIDA & DAS, 2005; DOW et al., 1981).

As alterações morfofisiológicas, bioquímicas e moleculares que ocorrem nas plantas submetidas ao estresse variam com o genótipo e seu estágio de desenvolvimento, da intensidade e duração do estresse (WILLADINO & CÂMARA, 2004), e das condições ambientais (MUNNS, 2002).

As plantas possuem mecanismos de respostas ao estresse salino que envolvem uma série de ajustes fisiológicos, bioquímicos e moleculares ativados que atuam para minimizar os efeitos do estresse osmótico e iônico para que a planta mantenha seu crescimento e desenvolvimento mesmo sob condições de estresse (WILLADINO & CAMARA, 2005; RADIC et al., 2006).

### **Efeito da Salinidade sobre a Nutrição Mineral**

Elevadas concentrações de íons específicos, como o Na<sup>+</sup> e o Cl<sup>-</sup>, podem provocar desequilíbrio na nutrição mineral e efeitos tóxicos no metabolismo acarretando redução no crescimento (WILLADINO & CAMARA, 2004; LACERDA, 2005). O desequilíbrio nutricional é decorrente da absorção excessiva de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>, bem como dos distúrbios na absorção ou distribuição de vários elementos essenciais. (AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000; LACERDA, 2005). Na realidade, a interação entre salinidade e nutrição mineral é complexa e depende da concentração e composição iônica dos meios salinos (água e solo) aos quais as plantas são submetidas e das diferentes respostas das plantas, tanto em relação à salinidade como em relação à eficiência na aquisição de minerais do solo (LACERDA, 2005).

A disponibilidade de nutrientes para as plantas é afetada por muitos fatores no ambiente solo - planta. O pH do solo influencia na disponibilidade dos nutrientes, assim como a concentração e as relações entre os elementos podem interferir na absorção e no transporte de um nutriente e indiretamente podem afetar a absorção e a translocação de outros (GRATTAN & LAMENTA, 1994).

Em ambientes salinos o NaCl é o sal que causa maiores danos as plantas. Devido à absorção excessiva desses íons ocorre o aumento da pressão osmótica, esta última dificulta a absorção de água pelas plantas, fenômeno conhecido como “seca fisiológica”. O elevado conteúdo de NaCl no solo reduz a absorção de alguns nutrientes minerais, especialmente o  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{PO}_4^{-2}$  e  $\text{SO}_4^{-2}$  (LARCHER, 2000; FLORES, 1990; NEVES et al., 2004).

O potássio tem sua absorção afetada pela alta concentração externa de sódio devido à similaridade química desses dois íons que disputam um mesmo carregador na membrana celular (WILLADINO & CAMARA, 2004). O  $\text{K}^+$  é essencial em toda a vida da planta, pois está envolvido no balanço de cargas no citoplasma, contrabalançando as cargas negativas de proteínas e ácidos nucleicos, é ativador de reações enzimáticas vitais, contribui significativamente para a manutenção do potencial osmótico do vacúolo e turgor celular e é essencial na síntese de proteínas (MAATHUIS & AMTMANN, 1999; TESTER & DAVENPORT, 2003).

Uma alta concentração de sais (acima de 100 mM de  $\text{Na}^+$  ou de  $\text{Cl}^-$ ) inativa as enzimas e inibe a síntese protéica (MUNNS et al., 2002; TAIZ & ZEIGER, 2004). Outro importante efeito deletério do íon sódio é o deslocamento do íon cálcio da membrana protoplasmática com a consequente redução da seletividade iônica das raízes (Lacerda, 2005). Elevadas concentrações salinas afetam a absorção de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e a assimilação de nitrogênio necessário à síntese protéica (DEBOUBA et al., 2006).

Diversos autores concordam que uma alta razão  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  no citoplasma é um fator determinante na manutenção da tolerância da planta à salinidade (MAATHUIS & AMTMANN, 1999; VOLKMAR et al., 1998). Maathuis & Amtmann (1999) atribuem um valor mínimo de aproximadamente 1,0 para esta razão, em células vegetais. Os sistemas de transporte de potássio com seletividade maior por  $\text{K}^+$  do que por  $\text{Na}^+$  pode ser considerada um fator determinante para a tolerância ao sal (RODRIGUEZ-NAVARRO, 2000).

Elevados teores de  $\text{Cl}^-$  restringem a absorção de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Em muitos casos, a concentração de P nos tecidos das plantas pode ser reduzida de 20 a 50%, em ambientes salinos (SHARPLEY et al., 1992).

No entanto, o acúmulo de íons sódio e cloreto podem favorecer o ajustamento osmótico e a redução do potencial hídrico em algumas plantas. Porém, a exposição ao excesso de sais por um longo período pode causar na planta danos por toxicidade, quando não excluídos ou compartimentalizados adequadamente (MUNNS et al., 2010; WILLADINO et al., 2011).

### **Efeito da Salinidade sobre a síntese de Osmólitos Compatíveis**

O excesso de sais no solo causa redução no potencial hídrico dos tecidos, provocando restrição no crescimento uma vez que as taxas de alongação e de divisão celular dependem diretamente do processo de extensibilidade da parede celular (ASHRAF & HARRIS, 2004).

Alguns osmólitos compatíveis são íons essenciais, tais como  $\text{K}^+$ , mas a maioria é de solutos orgânicos. São chamados solutos compatíveis porque, mesmo em concentrações elevadas, eles são compatíveis com o metabolismo, pois não inibem a atividade de enzimas e, tampouco, interferem na estrutura celular (HOEKSTRA et al., 2001), não são tóxicos em altas concentrações, possuem baixo peso molecular, são altamente solúveis e protegem as plantas do estresse (YANCEY et al., 1982; BOHNERT & JENSEN, 1996).

A função primária dos solutos compatíveis é reduzir o potencial osmótico e, desta forma, manter a absorção de água pela planta. Esses compostos atuam na proteção de macromoléculas e na manutenção do turgor celular, preservando a integridade das células para as atividades vitais de crescimento e desenvolvimento vegetal (TAIZ & ZEIGER, 2004), principalmente, em condições de estresse salino (MUNNS, 2006).

Os osmólitos são substâncias de natureza química distintas: polióis (pinitol e manitol), aminoácido (prolina), compostos sulfonium-terciário (DMSP – dimetilsulfoniopropionato) e amônio-quaternários (colina-*O*-sulfato, prolina betaína, glicina betaína,  $\beta$ -alanina betaína) (BRAY, et al., 2000). Entre eles os mais freqüentes são a prolina, glicina-betaína (ASHRAF & FOOLAD, 2006) e carboidratos (ROLLETSCHEK & HARTZENDORF, 2000).

A alteração na concentração de prolina nas plantas é relacionada a vários estresses abióticos, principalmente aos estresses hídrico e salino. O teor de prolina varia de espécie para espécie e pode apresentar valores 100 vezes maiores nas plantas submetidas a estresse quando

comparadas às plantas controles. Além disso, tem sido proposto, também, que a prolina pode funcionar como chaperonas moleculares para a estabilização das estruturas das proteínas, favorecer a estabilização do pH citosólico e auxiliar no equilíbrio redox das células estressadas (VERBRUGGEN & HERMANS, 2008). Alguns autores mostraram que a prolina pode atuar como seqüestrador das espécies reativas de oxigênio (ROS) geradas durante estresses (SMIRNOFF & CUMBES, 1989; BOHNERT & SHEN, 1999).

### 2.3 Estresse Oxidativo

O estresse oxidativo é definido como um desequilíbrio na relação entre compostos antioxidantes versus compostos pró-oxidantes, levando ao aumento do nível das espécies reativas de oxigênio (ROS). É considerado um estresse secundário por ser resultante de um estresse primário biótico ou abiótico (PANG & WANG, 2008). A sinalização para o mecanismo de desintoxicação das plantas, provavelmente, não ocorre devido às mudanças iônicas ou osmóticas, mas ao aumento dessas ROS ou a própria desnaturação das proteínas (ZHU, 2002).

As ROS são formas reduzidas de oxigênio atmosférico, que normalmente resultam da excitação do  $O_2$  para formar oxigênio singlete ( $O_2^1$ ) ou a partir da transferência de um, dois ou três elétrons para  $O_2$  para formar, respectivamente, um radical superóxido ( $O_2^-$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) ou um radical hidroxila ( $OH^\cdot$ ) (MITTLER, 2002).

Existem muitas fontes de ROS na planta, algumas delas estão envolvidas em reações normais do metabolismo, como na fotossíntese e respiração (MITTLER, 2002). Nesses processos, o oxigênio molecular pode seguir duas rotas, a das oxidases, a qual consiste na formação de água pela transferência de quatro elétrons para o oxigênio na cadeia respiratória (redução tetravalente), acoplada a fosforilação oxidativa que forma ATP; e a rota das oxigenases, culminando na formação das ROS através da transferência de um elétron de cada vez para o oxigênio (redução univalente) (SOARES & MACHADO, 2007). Outras fontes também são citadas como produtoras das ROS durante os estresses abióticos, como por exemplo, a fotorrespiração nos peroxissomos (MITTLER, 2002).

A produção acentuada de ROS durante o estresse pode exercer efeitos deletérios nas células. Os danos oxidativos se traduzem em diversos processos degenerativos, incluindo danos no DNA (CASSELLS & CURY, 2001), peroxidação de lipídios de membrana e morte celular programada (SILVEIRA et al., 2005, MARTINS, 2007). Por outro lado as ROS

também podem agir como sinalizadores na ativação de resposta ao estresse e como vias de defesa. Nesse contexto as ROS são consideradas um indicador celular de estresse e um mensageiro secundário envolvido na transdução de sinal em resposta ao estresse (MITTLER, 2002).

Para lidar com o estresse oxidativo, plantas superiores têm desenvolvido sistemas antioxidantes enzimáticos e não-enzimáticos, que são encontrados em diferentes organelas como cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos (PANG & WANG, 2008). O sistema antioxidante é uma defesa celular que proporciona a proteção contra os efeitos adversos das ROS (MARTINS, 2007).

## **2.4 Enzimas Antioxidantes**

As plantas possuem mecanismos para proteger a célula e as estruturas subcelulares dos efeitos das ROS mediante a ativação do sistema antioxidativo. Entre os sistemas antioxidantes não-enzimáticos, atuam o ácido ascórbico, glutathione, carotenóides,  $\alpha$ -tocoferol (Vitamina E) (MITTLER, 2002), polióis ou alcoóis de açúcar (PERL-TREVES; PERL, 2002) e compostos fenólicos (SAKIHAMA et al., 2002), que agem em conjunto com o sistema enzimático que compreende a superóxido dismutase, peroxidase do ascorbato, catalase, glutathione redutase polifenoloxidase e tioredoxina redutase.

A proteção efetiva contra os efeitos negativos decorrentes da produção de ROS, na célula vegetal, depende da atividade coordenada entre os sistemas não-enzimáticos e a atividade do sistema enzimático (SCANDALIOS, 1993). Uma série de passos de detoxificação é requerida para evitar a conversão de uma espécie reativa em outra mais nociva. A superóxido dismutase (SOD) é considerada uma primeira barreira enzimática contra o estresse oxidativo por converter o superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ) a peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). Superexpressão desta enzima aumenta a tolerância ao estresse abiótico, como salinidade e baixa temperatura (BOHNERT & SHEVELA, 1998). O produto da dismutação do superóxido pela SOD, o  $H_2O_2$ , deve ser removido a fim de evitar sua conversão em radicais mais reativos, como o  $OH^{\cdot}$  (PERL-TREVES; PERL, 2002). Para isso, diversas enzimas como catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) atuam reduzindo o  $H_2O_2$  a  $H_2O$ . A GPx atua oxidando a glutathione para reduzir o peróxido de hidrogênio e formar água ( $H_2O$ ). A glutathione oxidada é então reduzida por ação da glutathione redutase.

Diferentemente da CAT, que degrada diretamente o  $H_2O_2$  sem consumir agentes redutores celulares, a detoxificação pela APX ocorre com a oxidação de ascorbato, reação que resulta em monodeidroascorbato (MDHA) e  $H_2O$ . A regeneração do ascorbato é mediada pela monodeidroascorbato redutase (MDHAR) utilizando NAD(P)H como equivalente redutor (FOYER; HALLIWELL, 1976; NAKANO; ASADA, 1980).

As CATs são encontradas nos peroxissomos, glioxissomos, citosol e mitocôndrias (PERL-TREVES; PERL, 2002), e as isoformas da APX estão presentes no citosol, em membranas dos peroxissomos e em cloroplastos, sendo que nesse caso, uma isoforma está presente no estroma e outra está associada às membranas dos tilacóides (MIYAKE; ASADA, 1992).

A ação das enzimas antioxidantes é de fundamental importância para evitar danos a nível celular. Plantas tolerantes possuem a capacidade, de reduzir a produção de ROS, ou aumentar a desintoxicação ou reparação de danos provocados pelas ROS. Quando a geração de ROS ultrapassa a capacidade de eliminação das mesmas mediante as defesas celulares envolvidas, então ocorre o estresse oxidativo (MEHDY et al., 1996), podendo inclusive levar a célula à morte (BUCHANAN et al., 2000).

## **2.5 Cultivo Hidropônico do Tipo NFT**

A hidroponia constitui-se em uma técnica de produção de plantas na qual o solo é substituído por uma solução nutritiva composta de água e elementos minerais (FURLANI, 1998), na ausência ou na presença de substratos naturais ou artificiais, como cascalho, areia, turfa, vermiculita ou serragem. Os sistemas hidropônicos de produção de plantas vêm sendo empregados no Brasil para diversas culturas, como hortaliças folhosas (FAQUIN; FURLANI, 1999; SANTOS, 2000; BENINI et. al., 2002), de frutos (MORAES; FURLANI, 1999; FERNANDES et al., 2002) e de tubérculos (MEDEIROS et al. 2002).

A hidroponia é uma técnica bastante difundida em todo o mundo e seu uso está crescendo em muitos países. Esta técnica está sendo utilizada pelos produtores como forma da agregação de valor ao produto e viabilização do negócio (COSTA; JUNQUEIRA, 2000).

Os sistemas hidropônicos de produção de plantas atualmente em uso passaram por diversas modificações para se adaptarem às condições ambientais e sócio-econômicas das distintas regiões de produção. Dentre essas adaptações, destacam-se a opção pela circulação contínua ou intermitente da solução nutritiva, o emprego de diferentes materiais como

substratos e a aeroponia (MARTINEZ, 1999; MALFA; LEONARDI, 2001), sistema em que as raízes das plantas ficam suspensas recebendo água e nutrientes por atomizadores. Na origem dessas modificações, identifica-se o objetivo comum de buscar uma maior adaptação do sistema de cultivo às condições ambientais, visando otimizar o crescimento, o desenvolvimento e/ou a qualidade dos produtos vegetais. Outros fatores como o consumo de energia e as exigências laborais para a condução e o manejo das culturas também podem ser determinantes na escolha do sistema de produção a ser empregado.

O sistema NFT (*Nutrient Film Technique*), denominada técnica do fluxo laminar de nutrientes juntamente com o DFT (*deep film technique*), denominada técnica do fluxo profundo, são os dois sistemas hidropônicos que mais apresentam viabilidade econômica até agora. Ambos são classificados como sistemas fechados, pois a solução nutritiva é reaproveitada continuamente. Sua vantagem em relação aos sistemas abertos diz respeito ao controle ambiental (RODRIGUES, 2002).

No Brasil, onde tem crescido o interesse nos últimos anos pela hidroponia, predomina o sistema NFT (FURLANI et al., 1999). No sistema NFT, a solução nutritiva é bombeada aos canais e escoada por gravidade formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes das plantas fixadas em orifícios presentes nos canais de cultivo (FURLANI et al., 1999). O fluxo corrente de solução não deve inundar as raízes por completo. Aproximadamente 2/3 delas devem estar submersos para absorver a água e os nutrientes, e 1/3 no ar, absorvendo oxigênio. Manter uma provisão constante de oxigênio é fator determinante para garantir o êxito desse método (STAFF, 1997).

A solução nutritiva é o meio pelo qual os nutrientes, previamente dissolvidos na água, são colocados à disposição das plantas sendo crucial no sistema hidropônico, a aplicação inadequada da solução pode acarretar sérios prejuízos para as plantas (MARTINEZ, 1997; ANDRIOLO, 1999). Furlani et al., (1999) salientam a importância do conhecimento dos aspectos nutricionais desse sistema de produção, o qual requer formulação e manejo adequados das soluções nutritivas.

Para a maior parte das culturas é empregado esse tipo de sistema com pequeno ou nenhum uso de substratos. Esse sistema se destaca, dentre outros fatores, pela praticidade na implantação da cultura e pela limpeza dos produtos colhidos.

Nos sistemas hidropônicos fechados, a quantidade de fertilizantes é menor do que nos cultivos convencionais (RODRIGUES, 2002). O sistema exige o fornecimento regular de uma

solução nutritiva completa, cujos volumes consumidos durante o ciclo de produção dependem principalmente da transpiração diária da cultura (BAILLE, 1994).

A escolha do sistema hidropônico a ser empregado depende, dentre outros fatores, do porte da espécie a ser cultivada e, principalmente, da disponibilidade e custo dos materiais com potencial de uso como substratos.

O cultivo hidropônico tem vantagens e desvantagens em relação ao cultivo tradicional a céu aberto e cultivo protegido no solo, as quais são citadas por Teixeira (1996) e Rodrigues (2002) os quais destacam como vantagem a produção de melhor qualidade; maior produtividade; menor emprego de mão-de-obra; mínimo uso de defensivos; colheita precoce; maiores eficiências no uso da água e fertilizantes; melhoria da ergonomia nas atividades; dispensa da rotação de culturas; eliminação de alguns tratamentos culturais; e utilização racional de áreas sub-utilizadas pelo cultivo tradicional. Como desvantagens, citam-se: o alto custo de instalação; a dependência de eletricidade nos sistemas automáticos; a necessidade de mão-de-obra especializada; a possibilidade de negligência às atividades que são rotineiras; acúmulo de matéria orgânica; e a rápida disseminação de patógenos.

A maior produtividade normalmente obtida nos sistemas hidropônicos, comparativamente ao cultivo tradicional, deve-se fundamentalmente à ausência de enfermidades radiculares, desde que utilizado material isento de patógenos, e ao melhor controle sobre a nutrição das plantas, através do uso de solução nutritiva adequada à espécie (CALDEVILLA; LOZANO, 1993). A hidroponia tem despertado interesse crescente no mundo também em função da sua contribuição para redução de impactos ambientais.

## **2.6 Utilização de Água Salobra no Cultivo Hidropônico**

A escassez de água, seja quantitativa ou qualitativa, tem sido uma constante preocupação ao longo da História da humanidade. Porém, a partir da última década do século XX, esse problema ficou mais evidenciado, devido ao crescimento populacional, à melhoria das condições de vida, o que demanda mais água, e à importância que os meios de comunicação têm dado ao tema, permitindo sua divulgação em todos os âmbitos (JUAN, 2000). Além disso, Ayers e Westcot (1999) argumentam que a negligência à qualidade da água se deveu à abundância, até então existente, de fontes de água, em geral de boa qualidade e fácil utilização.

No semiárido a irregularidade e as baixas taxas de precipitação pluvial, aliadas às elevadas taxas de evapotranspiração e ao predomínio de rochas impermeáveis (embasamento



cristalino), favorecem a escassez de águas superficiais (COSTA et al., 2006) e desfavorecem a implantação de sistemas de produção agrícola convencionais em sequeiro. Nesta mesma região existem reservas subterrâneas que poderiam melhorar a relação de convivência com as estiagens prolongadas. Por outro lado, muitos dos poços perfurados possuem baixas vazões e altos teores de sais dissolvidos, restrições que, em parte, explicam o abandono de inúmeros poços públicos e privados (COSTA, 1995).

Essa grave e antiga crise de escassez hídrica, que poderia ser contornada com a exploração das reservas subterrâneas. Entretanto, por causas geológicas, a maior parte das águas subterrâneas dessa região é salobra, o que limita sua utilização na agricultura.

Diversas pesquisas tratam da possibilidade de utilização de águas salobras na agricultura. Enquanto algumas visam investigar a tolerância das culturas aos sais, sendo base para estudos de viabilidade técnica de produção e rendimento comercial, outras buscam averiguar o impacto da aplicação dessas águas no solo e nas águas receptoras, constituindo-se o referencial para estudos de viabilidade ambiental (SOARES, 2007).

A utilização dessas águas para o uso agrícola pode oferecer riscos ao meio ambiente, promovendo a salinização dos solos e conseqüente redução da produção agrícola (BELTRAN, 1999; PORTO et al., 2001; ALENCAR et al., 2003; GARCIA et al., 2008). Na dessedentação humana o uso direto dessas águas também tem sido pouco recomendado visto que causam doenças, como hipertensão e cálculos renais (BRASIL, 2000).

Por outro lado, o abastecimento de água de muitas comunidades rurais é proveniente de águas subterrâneas e, na maior parte da região, essa água é salobra (AYERS & WESTCOT, 1999) necessitando de tratamento para possibilitar a sua utilização na agricultura, pecuária e consumo humano. A tecnologia amplamente utilizada tem sido a dessalinização por osmose reversa. A dessalinização produz não só uma água de boa qualidade, mas também uma água residuária, denominada rejeito (ou concentrado ou salmoura), que possui alta concentração de sais, o que torna seu descarte um problema ambiental (SOARES et al., 2006).

Nesse contexto e como alternativa produtiva para a utilização de águas salobras subterrâneas e também para destinação nobre do rejeito de sua dessalinização, tem-se apontado para estudos de viabilidade técnica com cultivos no sistema hidropônico (SOARES et al., 2007). A técnica do cultivo hidropônico em NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes) apresenta vantagens como: eficiência no uso da água e nutrientes; melhor aproveitamento da área; elevadas produtividades e possibilidade de um controle maior no descarte do seu rejeito, minimizando os efeitos negativos sobre o meio ambiente.

O aproveitamento do rejeito da dessalinização em solução nutritiva em cultivos hidropônicos de hortaliças é uma opção bastante promissora para dispor esse resíduo. Isso porque, de acordo com Soares (2007), apesar da alta concentração de sais no rejeito e do seu poder de contaminação, a tolerância das plantas à salinidade em sistemas hidropônicos pode ser maior em relação ao sistema convencional, pois é menor ou inexistente o efeito do potencial mátrico sobre o potencial total da água na hidroponia, o que pode reduzir a dificuldade de absorção de água e nutrientes pelas plantas com conseqüente aumento da salinidade limiar da cultura.

Nesse sentido, em sistemas hidropônicos, espera-se que culturas, sobretudo de ciclo rápido, proporcionem o uso sustentável de águas salinas, naturais ou residuárias provenientes do processo de dessalinização.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Estrutura Experimental

##### 3.1.1 Casa de Vegetação

A estrutura experimental foi instalada em casa de vegetação com 7,0 m de largura, 24,0 m de comprimento, 3,0 m de pé direito e 4,5 m de altura e com cobertura do tipo arco simples e paredes com telas sobre um rodapé de 20 cm em alvenaria, no Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife. O ambiente é protegido no teto por filme agrícola transparente de polietileno, com 150 µm de espessura, com tratamento antiultravioleta (Figura 1A).

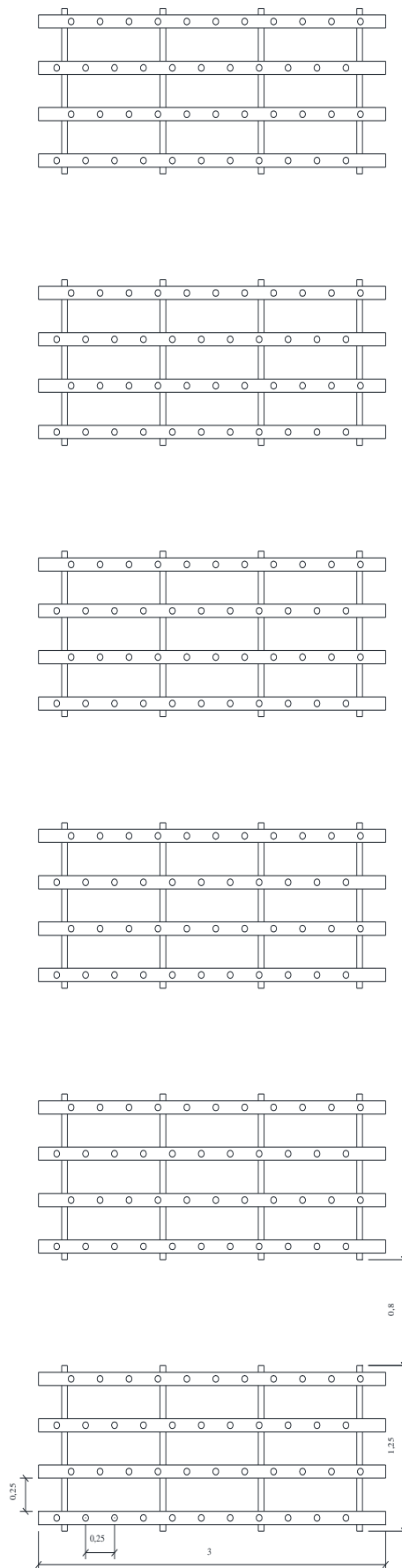
O piso da casa de vegetação foi coberto por manta geotêxtil de poliéster (bidim), coloração cinza, com o objetivo de aumentar a vida útil do sistema de bombeamento e melhorar as condições fitossanitárias, bem como minimizar os efeitos da poeira (Figura 1B).



**Figura 1** - Vista frontal da casa-de-vegetação (A); e Interior da Casa-de-Vegetação (B) onde foi conduzido o experimento.

##### 3.1.2 Sistema Hidropônico

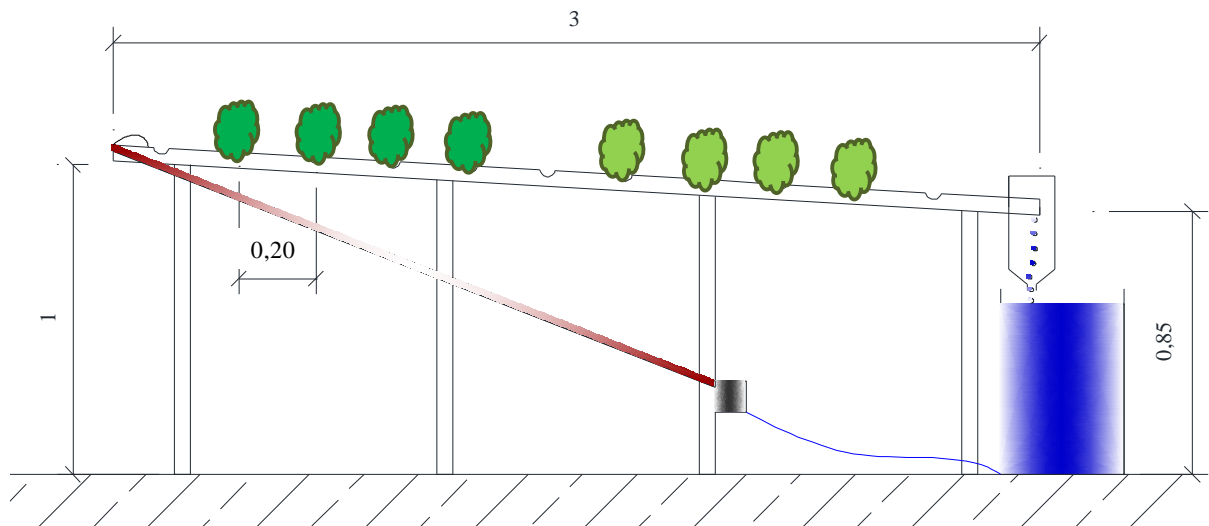
Foram confeccionadas 24 bancadas hidropônicas independentes, em sistema NFT (técnica do fluxo laminar de nutrientes). Cada bancada representando uma parcela experimental, semelhante ao esquema descrito por Soares (2007). As parcelas foram montadas quatro a quatro sobre traves de madeira. Entre as parcelas foi deixado um corredor para facilitar o trânsito e a operacionalidade. A largura do corredor e o espaçamento entre os perfis foram também projetados para evitar a competição entre plantas pertencentes a tratamentos distintos (Figura 2).



**Figura 2.** - Planta baixa do experimento

Cada bancada era constituída por: um reservatório plástico azul individual com capacidade para 60 L, que era mantido devidamente coberto, a fim de evitar proliferação de algas na solução; uma eletrobomba de circulação que funcionava apenas afogada, com componentes internos em plástico para evitar o efeito corrosivo da solução nutritiva; um perfil hidropônico feito em polipropileno com aditivo anti-ultravioleta com diâmetro de 75 mm, comprimento de 3,0 m, orifícios com 2,5 cm de raio e espaçados em 0,20 m.

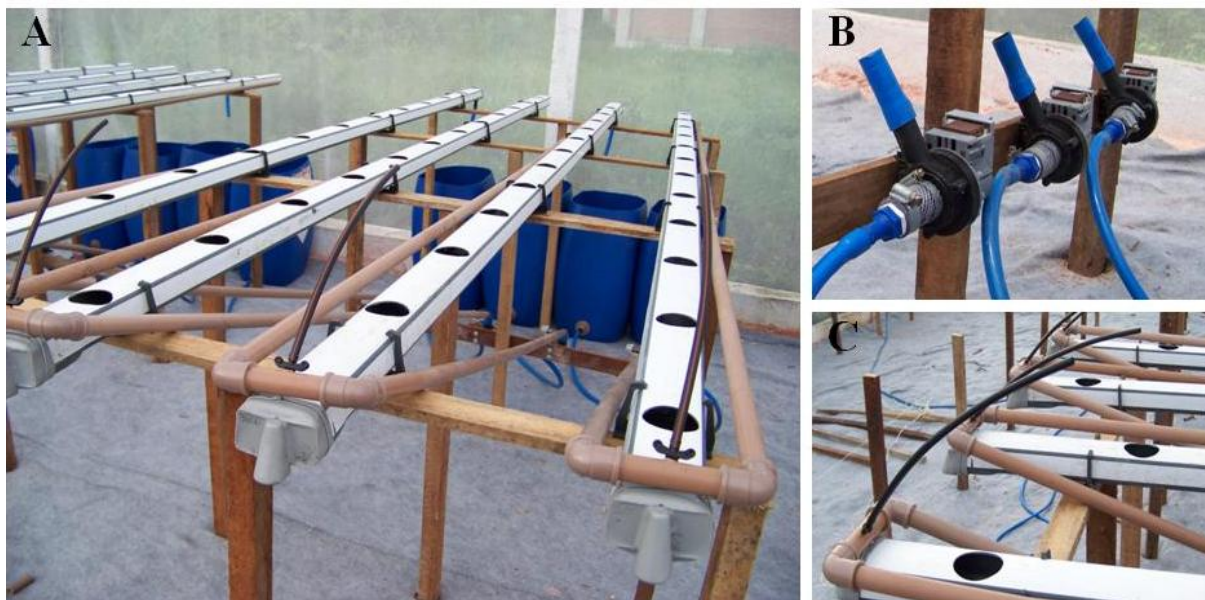
Os perfis foram instalados a uma altura média de 1 m da superfície do solo, possuindo quatro pontos de apoio e uma inclinação de 5%. Na extremidade do perfil onde se dá a admissão da solução nutritiva, foi instalado um tampão visando evitar a entrada de luz e eventuais perdas de solução. Com os mesmos objetivos e também para direcionar o retorno da solução, foi adaptada uma garrafa plástica na outra extremidade do perfil (Figura 3).



**Figura 3** - Perfil do sistema hidropônico.

Foi instalado um sistema injeção/retorno da solução nutritiva em tubo de PVC de 20 mm (Figura 4A). O sistema de injeção/retorno saía do reservatório da solução nutritiva através de uma mangueira até a eletrobomba de circulação, a qual impulsionava a solução até a parte mais alta da bancada (Figura 4B). Em seguida, parte da solução era captada por um emissor (um microtubo flexível de 4 mm de diâmetro conectado a tubulação por um conector tipo borboleta) que saía da tubulação e se prolongava até o perfil hidropônico, apresentando, em média, uma vazão conjunta de 1,60 L por minuto, percorrendo o perfil em declive (5 %), sendo a gravidade a única força motriz. O excedente não injetado no perfil voltava ao reservatório mediante tubulação de retorno composta por um “joelho” de 90° de 20 mm e um registro de gaveta de 20 mm, com o objetivo de regularizar a vazão e favorecer a aeração da solução nutritiva (Figura 4C).

A irrigação do sistema hidropônico operava mediante um temporizador fornecendo solução nutritiva em intervalos regulares em eventos programados que se repetiam a cada 24 horas, funcionando numa vazão de  $1,6 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ . A rede elétrica foi dimensionada para operar todas as 24 parcelas simultaneamente.



**Figura 4** - Vista das parcelas experimentais (A), eletrobomba de circulação(B) e sistema injetor/retorno (C).

### 3.2 Produção de Mudas

Sementes de rúcula das cultivares Folha larga e Cultivada foram semeadas em placas de espuma fenólica ( $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}$ ), em orifícios com  $0,6 \text{ cm}$  de profundidade e  $0,3 \text{ cm}$  de diâmetro, feitos com o bocal de uma caneta esferográfica. Foram colocadas cerca de 15 sementes por célula. Antes da semeadura as placas de espuma fenólica foram lavadas abundantemente com água corrente para aumentar o pH e isentar o meio de substâncias contaminantes. Após a semeadura a placa foi colocada em ambiente escuro por cerca de 36 horas.

Após a germinação as mudas foram colocadas em bancadas de desenvolvimento (berçário) com hidroponia NFT, em casa de vegetação, por um período de 15 dias sendo irrigadas com solução nutritiva (FURLANI, 1998) diluída a 50 %, 15 minutos a cada hora, das 5 às 19 horas, e com uma rega de 15 minutos às 24 horas (Figura 5).

Depois desse período as mudas foram desbastadas ficando 10 plantas por célula e transplantadas para as bancadas de crescimento ou perfis hidropônicos (parcelas



experimentais). As mudas transplantadas não passaram por período de aclimação ao excesso de sais na solução. Ou seja, não foi empregado o procedimento de aumento gradativo da salinidade, o qual visaria não se permitir choque osmótico.



**Figura 5** - Berçário hidropônico com mudas aos 2 DAS (A) e aos 15 DAS (B).

### 3.3 Preparo da Solução Nutritiva

A solução nutritiva (Tabela 2) utilizada foi a indicada por Furlani (1998) para hortaliças folhosas. A solução foi preparada adicionando os sais fertilizantes (macronutrientes e micronutrientes) e o NaCl à água. A quantidade de NaCl foi determinada conforme a concentração desejada para cada tratamento, conforme mostra a Tabela 1, e a formulação da solução nutritiva é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 1** - Quantidade de NaCl usada na água para atingir os diferentes níveis de CE dos tratamentos, aos quais foram submetidas as plantas de rúcula.

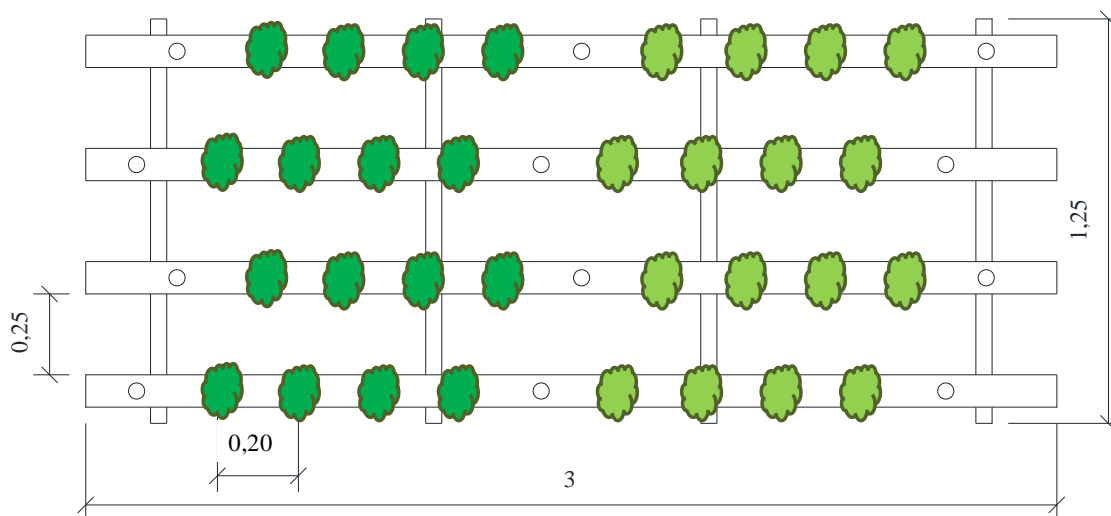
| Tratamentos  | CE Desejada (dS. m <sup>-1</sup> ) | CE (NaCl + solução) | NaCl (g.L <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------------------------------------|---------------------|---------------------------|
| T0(Controle) | 0                                  | 1,8                 | 0                         |
| T1           | 2,0                                | 3,8                 | 0,8775                    |
| T2           | 4,0                                | 5,8                 | 1,755                     |
| T3           | 6,0                                | 7,8                 | 2,6325                    |
| T4           | 8,0                                | 9,8                 | 3,51                      |
| T5           | 10,0                               | 11,8                | 4,3875                    |

**Tabela 2** - Quantidade de fertilizante utilizado como fonte de macro e micronutrientes para o preparo de 1000 L de solução nutritiva para o cultivo hidropônico de folhosas (FURLANI, 1998).

| Fertilizante                | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> | P     | K     | Ca    | Mg    | S  | B    | Cu   | Fe   | Mn   | Mo   | Zn   |      |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| .....g.m <sup>3</sup> ..... |                 |                 |       |       |       |       |    |      |      |      |      |      |      |      |
| Nitrato de Cálcio           | 750             | 7,5             | 108,8 |       | 142,5 |       |    |      |      |      |      |      |      |      |
| Nitrato de Potássio         | 500             |                 | 65    | 182,5 |       |       |    |      |      |      |      |      |      |      |
| MAP                         | 150             | 16,5            |       | 39    |       |       |    |      |      |      |      |      |      |      |
| Sulfato de Magnésio         | 400             |                 |       |       |       | 40    | 52 |      |      |      |      |      |      |      |
| Sulfato de Cobre            | 0,15            |                 |       |       |       |       |    |      | 0,02 |      |      |      |      |      |
| Sulfato de Zinco            | 0,30            |                 |       |       |       |       |    |      |      |      |      |      | 0,07 |      |
| Sulfato de Manganês         | 1,5             |                 |       |       |       |       |    |      |      |      | 0,39 |      |      |      |
| Ácido Bórico                | 1,8             |                 |       |       |       |       |    | 0,31 |      |      |      |      |      |      |
| Molibdato de Sódio          | 0,15            |                 |       |       |       |       |    |      |      |      |      | 0,06 |      |      |
| Fe-EDTA – 13%               | 16              |                 |       |       |       |       |    |      |      | 2,08 |      |      |      |      |
| Recomenda                   |                 | 24              | 173,8 | 39    | 182,5 | 142,5 | 40 | 52   | 0,31 | 0,02 | 2,08 | 0,38 | 0,06 | 0,07 |

### 3.4 Condução do Experimento

As duas cultivares foram cultivadas no mesmo perfil hidropônico. Cada perfil (parcela) continha oito maços, um maço por furo, sendo quatro de cada cultivar. Os quatro primeiros furos foram cultivados a cultivar Folha Larga e os quatro seguintes a cultivar Cultivada, separadas por um furo, como mostra a figura 6. Cada parcela era formada por 80 plantas. Cada furo continha dez plantas, e representava uma repetição.



**Figura 6.** Distribuição das variedades de rúcula no perfil hidropônico.



O volume do reservatório de solução nutritiva foi mantido em 50 L. Não foi utilizado o sistema de abastecimento automático e a reposição da água evapotranspirada foi efetuada manualmente com o auxílio de uma régua graduada adaptada, a qual era inserida até o fundo do reservatório para indicar a altura de solução contida e, por conseguinte, o quanto acrescentar de água. Nessa reposição, foi utilizada água de abastecimento da Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA.

A irrigação do sistema hidropônico possuía duração de 15 minutos em eventos programados que se repetiam a cada 24 horas. A solução nutritiva era bombeada do reservatório até a parte mais alta da bancada por uma eletrobomba que era acionada por um temporizador. Durante o dia, das 7 horas da manhã às 18 horas, o temporizador acionava o sistema a cada 15 minutos, permanecendo ligado durante 15 minutos. No período das 18 horas às 7 horas da manhã, o sistema era programado para promover um evento de irrigação às 24h.

O controle dos tratamentos foi realizado mediante medições diárias da condutividade elétrica da solução nutritiva em cada parcela.

### **3.5 Variáveis Avaliadas**

Na ocasião da coleta, aos 40 dias após a semeadura, foram coletadas duas folhas expandidas da mesma planta da região mediana do maço, acondicionadas em papel alumínio e imediatamente imersas em nitrogênio líquido para congelamento rápido. Após a coleta, as amostras foram armazenadas em Freezer a -80 °C até o momento da determinação da atividade enzimática, teores de prolina livre, clorofilas e de proteína solúvel total.

Em seguida determinou-se o peso da matéria fresca da parte aérea (PFPA) com auxílio de balança digital com precisão de 0,1 g; o número total de folhas (NTF) e a altura da planta (AP), com o auxílio de uma fita métrica. As amostras frescas coletadas foram acondicionadas, separadamente, em sacos de papel devidamente identificados e levados para secar em estufa de aeração forçada a 70°C até peso constante. Em seguida, determinou-se o peso da matéria seca da parte aérea (PSPA) e das raízes (PSR).

As taxas de crescimento absoluto (TCA) e de crescimento relativo (TCR) foram determinadas com base na altura das plantas. Para os cálculos das variáveis supracitadas, seguiu-se a metodologia proposta por Benincasa (2003) de acordo com as fórmulas:

$$TCA \text{ (g.dia}^{-1}\text{)} = (\text{Altr} - \text{Alti})/t$$

$$\text{TCR (g.g}^{-1}\text{.dia}^{-1}) = (\ln \text{Alt}_f - \ln \text{Alt}_i)/t$$

Onde:  $\text{Alt}_f$  é a altura final;  $\text{Alt}_i$  é a altura inicial;  $t$  é o tempo de duração dos tratamentos salinos;  $\ln$  é o logaritmo neperiano.

A quantificação das proteínas solúveis totais nos extratos foi realizada empregando-se a metodologia descrita por Bradford (1976). O teor protéico da amostra foi expresso em mg de proteína.g<sup>-1</sup> de matéria fresca.

O conteúdo de prolina foi determinado de acordo com o método proposto por Bates et al. (1973). Utilizou-se o tolueno como branco. O teor de prolina foi obtido utilizando-se uma curva padrão com concentrações conhecidas (0, 5, 10, 15, 20 e 25 mg.L<sup>-1</sup> de prolina) e os resultados foram expressos em µg de prolina.g<sup>-1</sup> de matéria fresca.

A atividade da catalase (CAT) foi determinada como descrito por Kraus et al. (1995) com algumas modificações, conforme Azevedo et al. (1998). Os resultados foram expressos em U. min<sup>-1</sup>. mg<sup>-1</sup> proteína. g<sup>-1</sup> massa fresca.

A atividade peroxidase do ascorbato (APX) foi determinada como descrito por Moldes et al. (2008). Os valores de atividade foram expressos em U. min<sup>-1</sup>. mg<sup>-1</sup> proteína. g<sup>-1</sup> massa fresca.

A atividade da polifenoloxidase (PPO) foi determinada como descrito por Cano et al. (1997). A atividade da enzima PPO foi expressa em U. min<sup>-1</sup>. mg<sup>-1</sup> proteína. g<sup>-1</sup> massa fresca.

A quantificação da clorofila “a”, “b” e total foi realizada segundo metodologia de Arnon (1949), baseado nos seguintes cálculos: Clorofila “a” =  $(12,72 \times A_{663} - 2,59 \times A_{645}) \times V/1000/W$ ; Clorofila “b” =  $(22,88 \times A_{645} - 4,67 \times A_{663}) \times V/1000/W$ ; Clorofila total =  $(20,2 \times A_{645} + 8,02 \times A_{663}) \times V/1000/W$ .

Sendo,  $A$  = absorvância dos extratos no comprimento de onda determinado;  $V$  = volume do extrato clorofila-acetona,  $W$  = matéria fresca do material vegetal utilizado em grama.

Para a determinação das concentrações de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  nos tecidos vegetais foi realizada digestão nitro-perclórica a partir do tecido vegetal, segundo Malavolta et al. (1997).

As concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  no extrato dos tecidos vegetais foram determinadas em fotômetro de chama e as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  foram determinadas em espectrômetro de absorção atômica. O teor de  $\text{Cl}^-$  foi determinado por titulometria com nitrato de prata (método de Mohr), segundo Malavolta et al. (1989) e o de fósforo foi determinado por

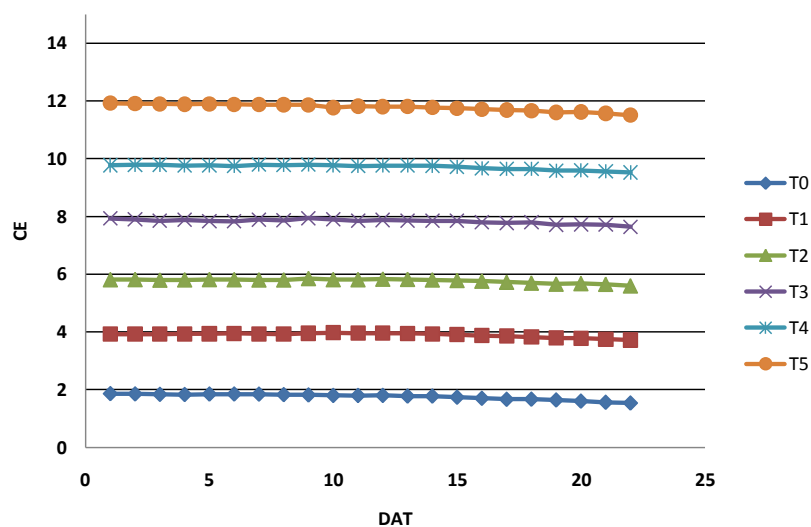
espectrofotometria. Os valores de concentração foram expressos em grama por quilo grama de tecido seco.

### **3.6 Delineamento Experimental**

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com seis níveis de salinidade e quatro repetições por tratamento, e duas cultivares de rúcula. Os resultados foram submetidos à análise de regressão.

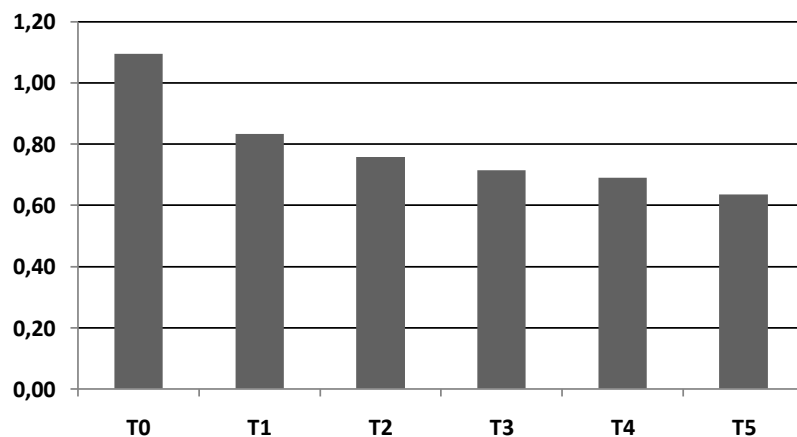
#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se redução na condutividade da solução nutritiva ao longo do tempo, em todos os tratamentos, quando considerados os níveis inicialmente estabelecidos (Figura 7). Essa diminuição, esperada, ocorreu em função do consumo de nutrientes pela cultura, sem a correspondente reposição, o que foi definido previamente em virtude da alta disponibilidade de nutrientes, calculada para a demanda do ciclo completo da cultura. Ocorreram pequenas oscilações nos valores diários da CEa, resultado do manejo manual da reposição da água consumida ao longo do ciclo de cultivo. Esse resultado também foi observado por Silva (2009), na cultura da alface hidropônica. Durante o experimento não se procurou corrigir a salinidade.



**Figura 7-** Valores médios da CE da Solução Nutritiva dos seis tratamentos no período de 22 DAT.

O consumo hídrico apresentou variações diárias decorrentes das variações de temperatura e umidade na casa de vegetação. Nos primeiros dias observou-se um comportamento semelhante no consumo hídrico em todos os tratamentos, em função da uniformidade das plantas nesse período e ao baixo consumo hídrico na fase inicial de desenvolvimento. A partir do momento que os níveis de sal começaram a influenciar na absorção de água pela cultura, o consumo hídrico tendeu a diminuir em função do aumento da salinidade (Figura 8). O maior consumo de água das plantas do tratamento controle indica maior evapotranspiração em decorrência do potencial osmótico.



**Figura 8** – Consumo hídrico das plantas de rúcula, no período de 22 DAT, em função da salinidade.

O menor consumo hídrico das plantas em função do incremento dos níveis de sal na solução ocorreu devido ao efeito osmótico dos sais no sistema radicular, dificultando a absorção de água e outros elementos essenciais para seus tecidos. A água osmoticamente retida na solução salina é indisponibilizada para as plantas. Soares (2007) justifica a diminuição do consumo hídrico, em sistema hidropônico, em função do aumento da salinidade da água de reposição. O autor encontrou uma redução de 17,5% no consumo hídrico de plantas cultivadas com água de 7,46 dS.m<sup>-1</sup> quando comparado ao consumo de plantas cultivadas em água de baixa salinidade.

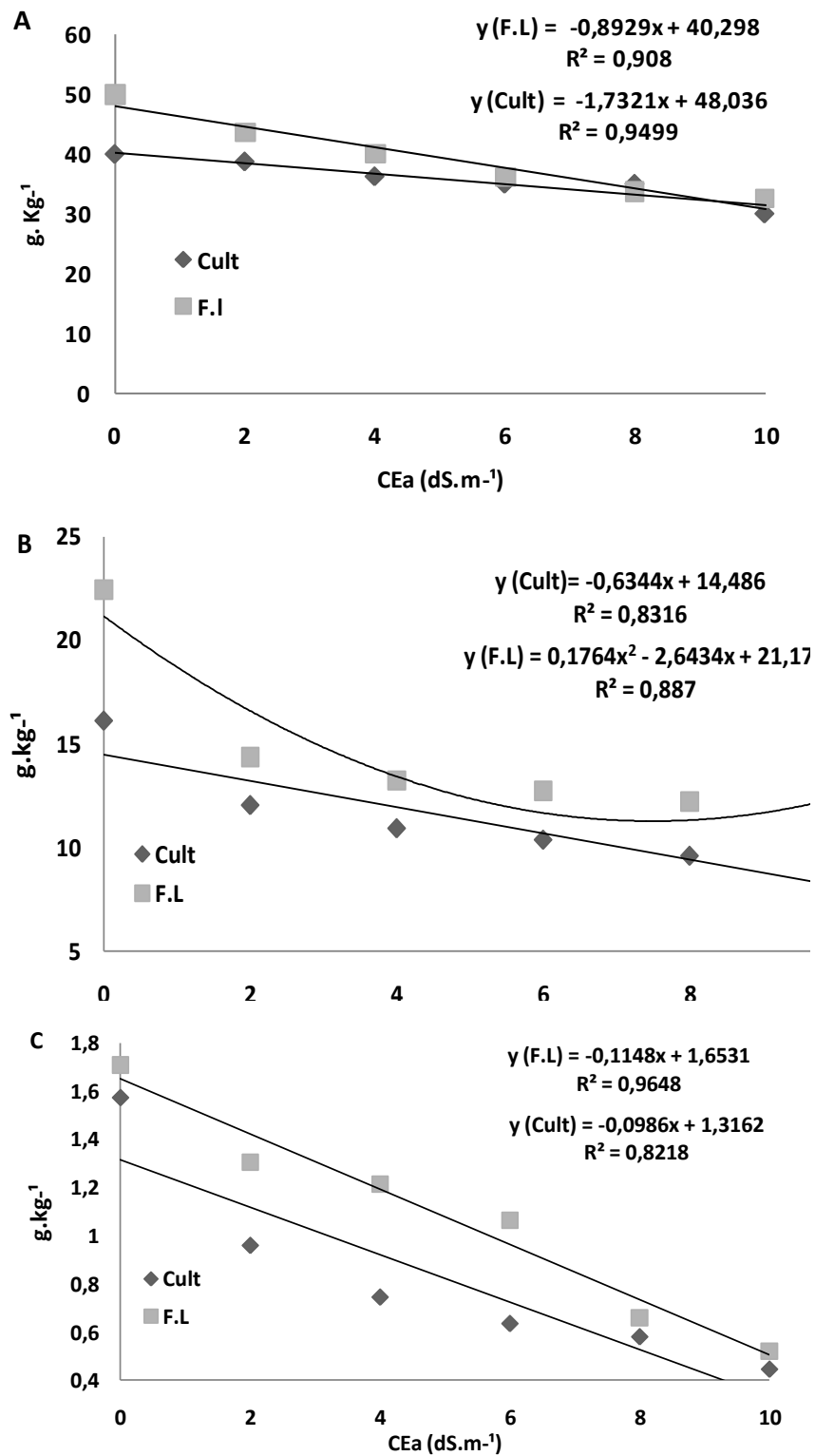
A redução do consumo de água em função do aumento da salinidade também foi verificado por Viana et al. (2004) em trabalhos com mudas de alface da cultivar Elba cultivadas em vasos. O estresse provocado pelo incremento da salinidade reduz fisiologicamente a absorção de água pelas plantas e conseqüentemente reduz o peso fresco e seco das plantas.

Ambas as cultivares sofreram redução em todas as variáveis fisiológicas de crescimento avaliadas em função do aumento da salinidade. As reduções foram mais evidentes nas plantas submetidas aos tratamentos com maiores concentrações de sal. É importante destacar que, em condições de estresse salino, é comum ocorrerem alterações morfológicas nas plantas (LIMA et al., 2007). A diminuição do potencial osmótico da solução dificulta a absorção de água pelas plantas gerando redução da expansão das células jovens, devido à redução na turgescência celular e à menor extensibilidade da parede celular

(NEUMANN et al., 1988). A expansão radicular quando dificultada compromete os demais processos vitais.

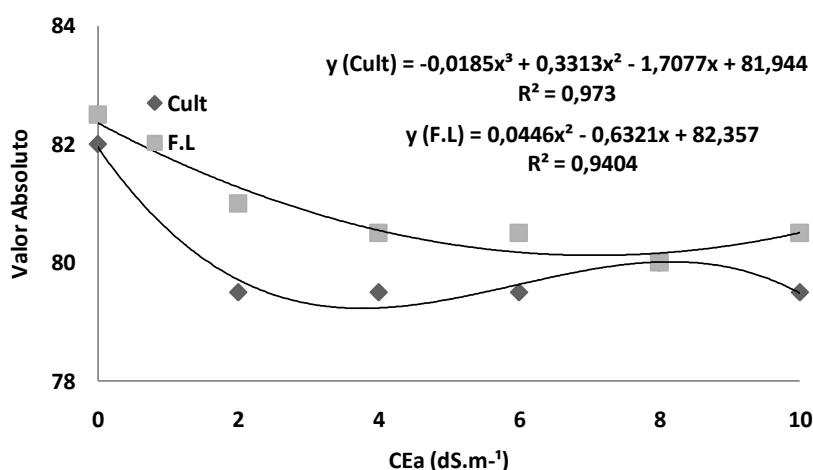
O aumento da concentração de NaCl, resultou em progressiva redução no peso fresco e seco da parte aérea. Essa redução foi de 35 e 49% na cultivar Folha Larga e 25 e 45% na cultivar Cultivada, respectivamente, no tratamento mais salino ( $10 \text{ dS.m}^{-1}$ ). Resultados semelhantes, porém mais expressivos, foram encontrados para o peso seco da raiz, que diminuiu cerca de 70 e 72%, respectivamente, para a cultivar Folha Larga e cultivar Cultivada, no tratamento mais salino, refletindo a maior sensibilidade da raiz ao estresse salino. Esses valores ajustaram-se a um modelo linear decrescente, com exceção do peso seco de raiz para a cultivar Folha Larga que se ajustou melhor a uma equação polinomial quadrática como mostra a figura 9.

A redução da biomassa fresca e seca está relacionada ao efeito osmótico da salinidade, (TESTER & DAVENPORT, 2003) e ao suprimento inadequado de nutrientes devido a um desequilíbrio iônico provocado pelo excesso de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  (ALBERICO & CRAMER, 1993; TESTER & DAVENPORT, 2003). Resultados similares foram observados por Silva (2009) em rúcula cultivada em sistema hidropônico, tipo NFT, com nove níveis de salinidade. O autor observou maior acúmulo de peso fresco no menor nível de salinidade ( $1,8 \text{ dS m}^{-1}$ ), sendo esse superior em 91% quando comparado ao acúmulo no maior nível de salinidade ( $10,5 \text{ dS m}^{-1}$ ). Santos et al. (2009), analisando alface hidropônico cv. Vera, com salinidade de 1,4 a  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$ , encontrou decréscimos da ordem de 94,83%. Lima (2008), trabalhando com duas concentrações salinas ( $50$  e  $100 \text{ mol.m}^{-3}$ ) em duas cultivares de coentro em vaso, obteve uma redução do peso fresco e seco da parte aérea e da raiz, quando comparadas às do controle. Em aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), cultivada a  $100 \text{ mM}$  de NaCl foi observada redução superior a 40% na biomassa seca de raízes, caules e folhas quando comparados ao controle (SILVA et al., 2000; MELLONI et al., 2000).



**Figura 9.** Peso fresco da parte aérea (A), peso seco da parte aérea (B) e da raiz (C) de plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

O número de folhas não apresentou grande variação em função do aumento dos níveis de sal. As plantas que não receberam sal apresentaram maior número de folhas do que as plantas dos demais tratamentos. Nos maiores níveis de sal as plantas apresentaram folhas menores e com coloração mais escura. Ambas as cultivares tiveram resultados semelhantes, ajustados numa equação polinomial do terceiro grau para a cv. Cultivada e do segundo grau para cv. Folha Larga, apresentando um valor médio de 79,5 e 80,5 folhas, respectivamente (Figura 10).

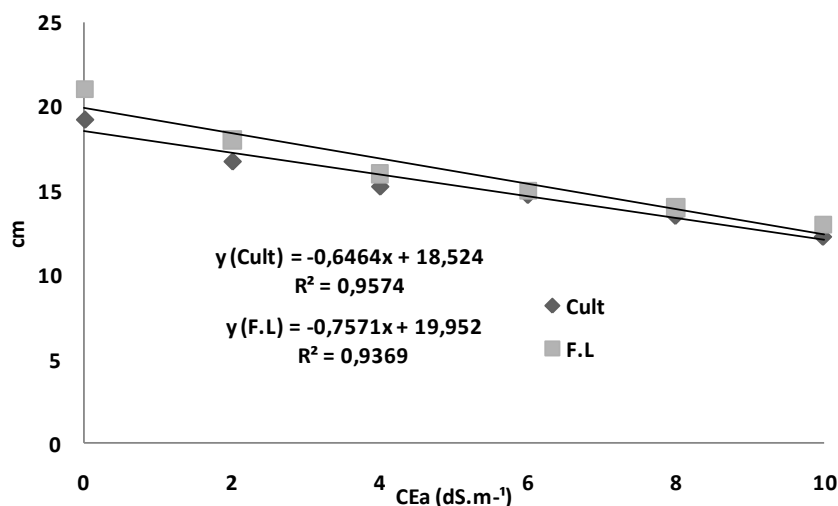


**Figura 10.** Número médio de folhas de plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

O número de folhas nem sempre é apontado como uma variável adequada para indicar tolerância à salinidade, uma vez que a planta pode não ter o seu número total de folhas reduzido e, entretanto, apresentar uma redução considerável em sua área foliar (SILVA JUNIOR, 2007). A ausência de variação no número de folhas de rúcula, cultivadas em sistema hidropônico com nove níveis de sal na solução nutritiva, foi relatado por Silva (2009), que encontrou um valor médio de 50,4 folhas em cada unidade amostral. Em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas com crescentes níveis de sais também não foram observadas variações no número de folhas (AQUINO, 2005). A redução na massa da matéria seca das plantas nos níveis mais elevados de salinidade deve ser atribuída à redução do tamanho das folhas, já que o número de folhas não foi afetado pela salinidade.

A altura da planta diminuiu progressivamente à medida que aumentou o estresse salino adequando-se a um modelo linear decrescente (Figura 11).





**Figura 11** - Altura média de plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

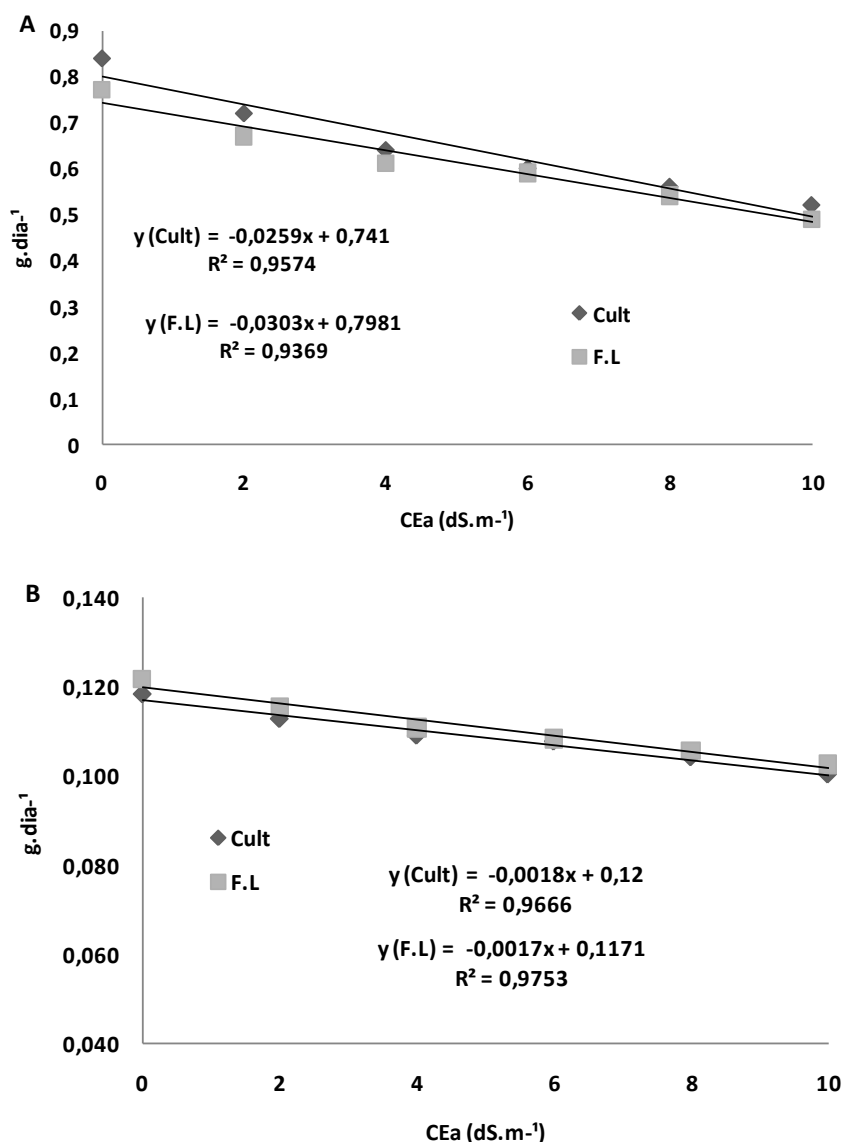
Bione et al. (2009), trabalhando com rúcula em sistema hidropônico NFT, avaliou diferentes fontes de águas salinas com CEa variando de 0,2 a 5,2 dS.m<sup>-1</sup> e observaram reduções significativas da altura das plantas; além de perdas quantitativas e qualitativas decorrentes ao aumento da salinidade da água. Lima (2008) obteve reduções de 31% e 26% nas cv. Tabocas e Verdão, respectivamente, quando comparadas às do controle. Resultados semelhantes foram observados por Medeiros et al. (1998), os quais registraram decréscimos da ordem de 67%, na altura média das plantas de coentro, cv. Aromática, irrigada com água de três diferentes níveis de salinidade (0,56; 2,41 e 3,93 dS.m<sup>-1</sup>).

Segundo Minami & Tessarioli Neto (1998) para o comércio, as folhas de rúcula, devem estar com 15 a 20 cm de comprimento, bem desenvolvidas, verdes e frescas. Trani et al. (1994) consideram como padrão comercial à altura aproximada de 20 cm, aceitando uma variação de 10% em torno dessa medida. Ainda que as plantas de rúcula resultantes dos tratamentos salinos tenham apresentado valores superiores aos propostos pelos autores supracitados é importante salientar que estes valores se referem ao cultivo da rúcula sem estresse salino.

Segundo Benincasa (2003), a altura das plantas é um dos parâmetros menos susceptíveis às variações ambientais. No caso da rúcula cultivada sob estresse salino, isto parece ser bastante discutível.

Pode-se verificar que os tratamentos salinos diminuiram linearmente os valores da taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) nas duas cultivares estudadas.

Essa redução foi da ordem de 36% e 38% para TCA nas cultivares Folha Larga e Cultivada, respectivamente, e de 15% para TCR das duas cultivares (Figura 12).



**Figura 12** - Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) (A) e Taxa Crescimento relativo (TCR) (B) em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

A redução da TCA e TCR em função do estresse salino foi constatada em diversas culturas. Cunha (2009) encontrou reduções de 36 e 45 % na TCA e na TCR em plântulas de pinhão-manso cultivadas em 90 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl. Lima (2008) relatou uma redução de 56% e 47% na TCA para cv. Tabocas e Verdão de coentro, respectivamente, quando submetidas a 100 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl. Plantas de sorgo (BARRETO, 1997) e de milho (AZEVEDO NETO & TABOSA, 2000) também apresentam redução nas taxas

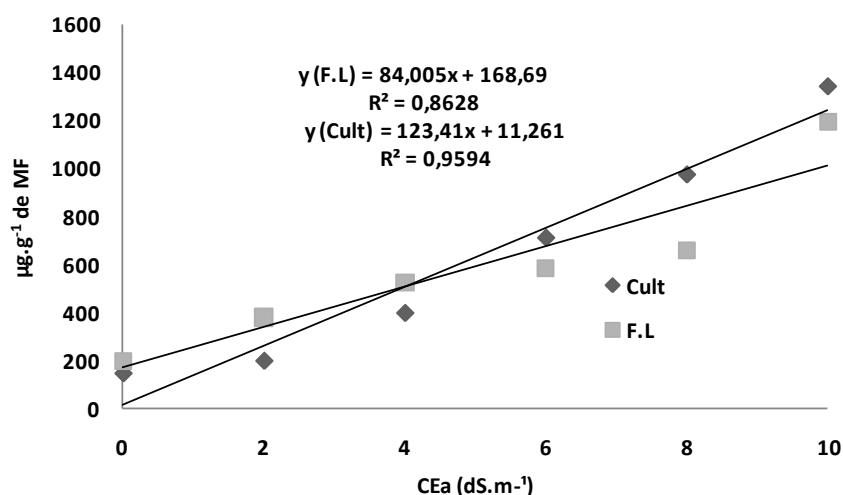
de crescimento as quais são variáveis em função da tolerância e sensibilidade das cultivares.

O processo de crescimento é particularmente sensível ao efeito dos sais, e segundo Larcher (2004) a taxa de crescimento pode servir de critério para avaliar o grau de estresse e a capacidade da planta de superá-lo. Mesmo espécies consideradas tolerantes ao sal apresentam redução do crescimento em presença de elevados níveis de salinidade, embora, em igual concentração de sal, plantas tolerantes sejam capazes de manter maiores taxas de crescimento do que as sensíveis (NEUMANN, 1997). A inibição do crescimento pelo sal (Figura 13) é resultante de um conjunto de fatores entre os quais se destacam o desvio da energia metabólica que passa a ser investido na manutenção da planta sob estresse, representando um custo metabólico relacionado à adaptação à salinidade (ORCUTT & NILSEN, 2000; TAIZ & ZEIGER, 2003), a redução na fixação do CO<sub>2</sub> decorrente de uma inadequada taxa fotossintética, reduzida em função da redução da área foliar, e ao aumento da respiração devido à condição de estresse (GREENWAY & MUNNS, 1980; ZHU, 2001).



**Figura 13** - Plantas de rúcula submetidas a diferentes concentrações de NaCl na solução nutritiva.

Verificou-se acúmulo de prolina em função do aumento de salinidade. O efeito da salinidade da água sobre o teor de prolina nas cultivares de rúcula ajustou-se a um modelo linear (Figura 14). Em hortaliças é freqüente o acúmulo de prolina em resposta ao estresse salino como constatado em plantas de alface (PAULUS, 2008) e em plantas de coentro (LIMA, 2008) ambas cultivadas em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade.

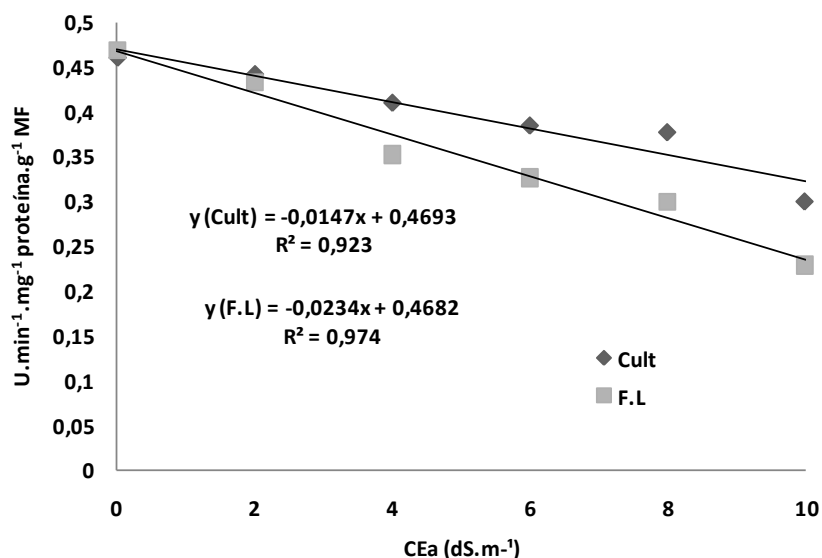


**Figura 14** - Conteúdo de prolina em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

Embora alguns trabalhos evidenciem a importância do incremento da prolina como osmorregulador, importante para a tolerância à salinidade, na medida em que garante a redução do potencial hídrico celular (FUMIS et al., 2002), o seu significado ainda é controverso (OLIVEIRA et al., 2006). Alguns trabalhos têm demonstrado que o principal papel da prolina consiste em estabilizar proteínas, DNA, membranas e estruturas subcelulares (KAVI KISHOR et al., 2005), na proteção contra as espécies reativas de oxigênio (SILVEIRA et al., 2010), além ser considerado um marcador bioquímico de alterações metabólicas geradas por diferentes tipos de estresse (LIMA et al., 2004).

O acúmulo de prolina pode ocorrer por meio do incremento de sua síntese e/ou inibição do seu catabolismo bem como pelo aumento da proteólise, sendo esses mecanismos frequentes de plantas sob estresse. Observaram-se, em ambas as cultivares de rúcula, uma redução no teor de proteína (Figura 15) em função do aumento dos níveis de sal na solução. Esse decréscimo pode refletir retardamento na síntese protéica ou aceleração na sua degradação, levando ao aumento na quantidade de aminoácidos

livres ou à inibição da incorporação destes aminoácidos nas proteínas. A proteólise fornece aminoácidos necessários para a manutenção celular durante distúrbios nutricionais, que podem ser causados pela salinidade (PIZA et al., 2003).

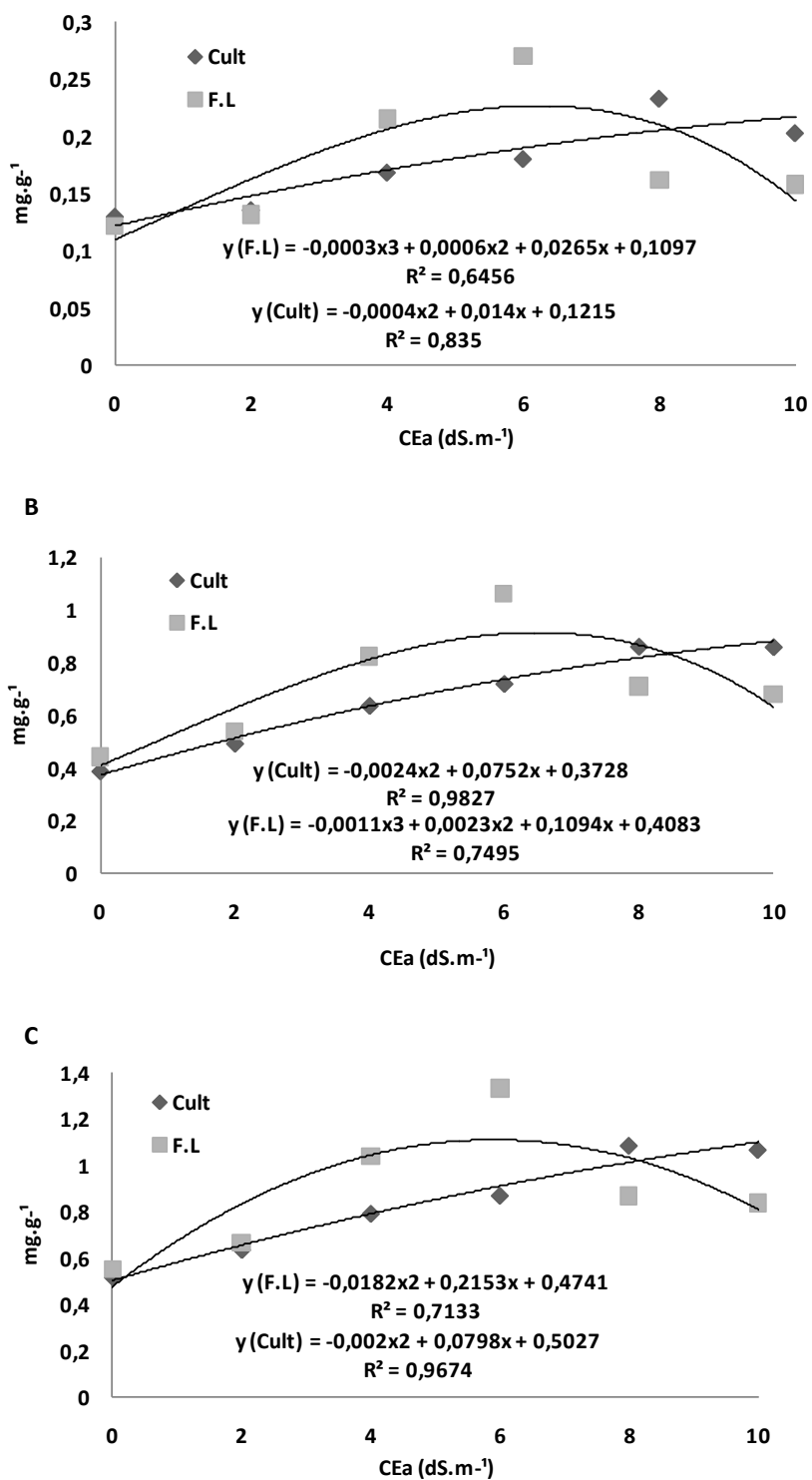


**Figura 15** – Teor de Proteína Solúvel Total em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

A redução no teor de proteínas em função do incremento da salinidade foi registrada em feijão (LIMA et al., 1999), melão (PIZA et al., 2003), pinhão-manso (KUMAR et al., 2008) entre outros. Navari-Izzo et al. (1990) defendem que a hidrólise de proteínas pode contribuir para o ajuste osmótico, uma vez que o maior teor de aminoácidos livres é um mecanismo importante de tolerância à seca.

O aumento no conteúdo de clorofila “a” e “b” e clorofila total foi observado em função do aumento dos níveis de sal. Esse aumento ajustou-se ao modelo polinomial cúbico para os teores de clorofila “a” e “b” na cv. Folha Larga e ao modelo polinomial quadrático na cv. Cultivada ( Figura 16).

Enquanto alguns autores registram incrementos dos teores de clorofila em resposta ao estresse salino outros registram redução (PARIDA, 2005). O incremento no conteúdo de clorofila em função do estresse salino e hídrico foi observado em células de *Bouteloua gracilis*, uma gramínea tolerante ao estresse hídrico (GARCÍA-VALENZUELA et al., 2005). Segundo Munns (1993) o teor de clorofila, em espécies tolerantes, aumenta com os níveis de salinidade. Plantas de alface (PAULUS, 2008), e de abacaxi (MENDES, 2009) apresentaram acréscimos significativos no conteúdo de clorofila quando cultivados sob estresse salino.



**Figura 16** - Conteúdo de clorofila a (A), de clorofila b (B) e conteúdo de clorofila total (C) em folhas de rúcula das cultivares Folha Longa e Cultivada em função da salinidade.

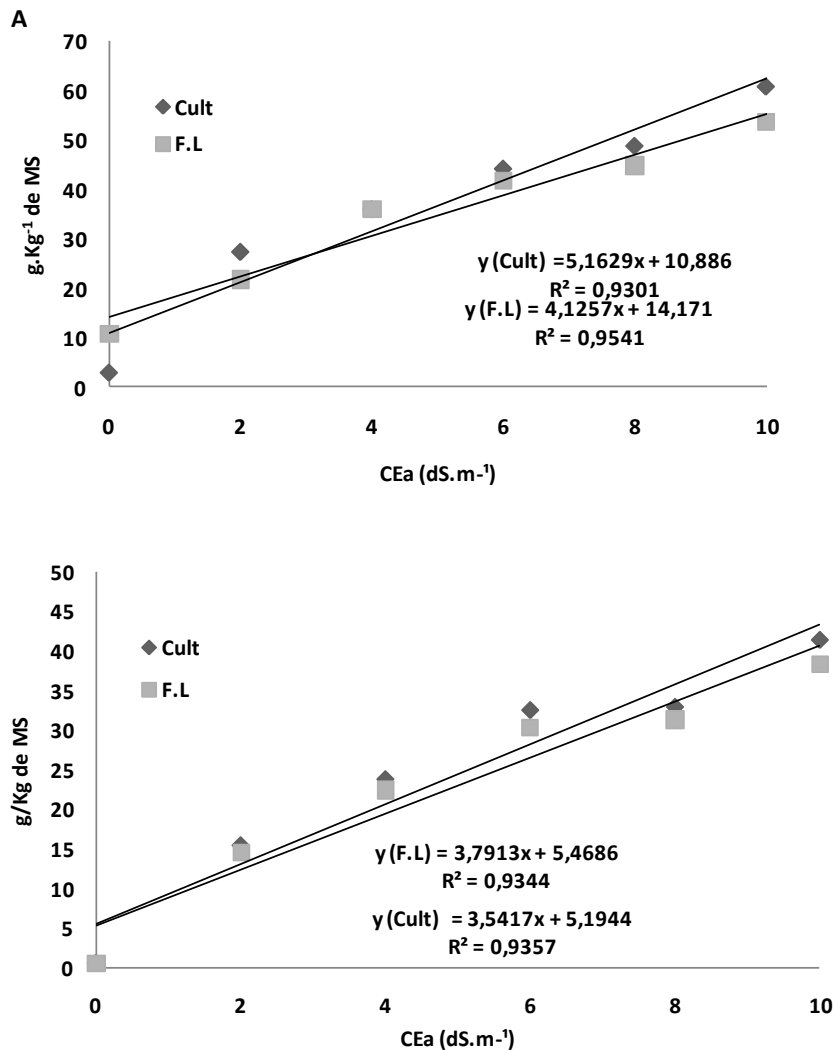
O incremento nos teores de clorofila pode ser resultado do desenvolvimento do cloroplasto (aumento no número de tilacóides) ou do aumento no número de cloroplastos sugerindo a ativação de um mecanismo de proteção ao aparato

fotossintético (GARCÍA-VALENZUELA et al., 2005), ainda que existam fortes evidências de que células submetidas a estresse por NaCl apresente menor taxa de transporte de elétrons entre os fotossistemas (ALLAKHVERDIEV et al., 2000).

Com relação à concentração de nutrientes minerais as plantas de rúcula submetidas à salinidade apresentaram redução nos teores de potássio, cálcio, fósforo e magnésio com o incremento da salinidade da solução nutritiva. Por outro lado os teores de sódio e cloro aumentaram em ambas as cultivares de forma similar. Os teores de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nas plantas aumentaram gradativamente, em função do incremento das concentrações salinas impostas, ajustando-se ao modelo linear crescente, como mostra a Figura 17.

Os maiores teores de sódio ocorreram na parte aérea. Esses resultados sugerem a ausência de mecanismos eficiente de exclusão do  $\text{Na}^+$  após o processo de absorção. O transporte deste cátion pela corrente transpiratória resultou em acúmulo de  $\text{Na}^+$  na parte aérea. Quando acumulado nos tecidos o  $\text{Na}^+$  se torna altamente tóxico alterando o metabolismo celular.

É freqüente a salinidade provocar a inibição da absorção dos íons potássio ( $\text{K}^+$ ) e cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) devido à competição pelos sítios de absorção em nível de membrana (CARMO et al., 2003), uma vez que o  $\text{Na}^+$  é absorvido através de transportadores específicos de  $\text{K}^+$  e canais de cátion de baixa afinidade, os chamados canais não seletivos (MÄSSER et al., 2002).

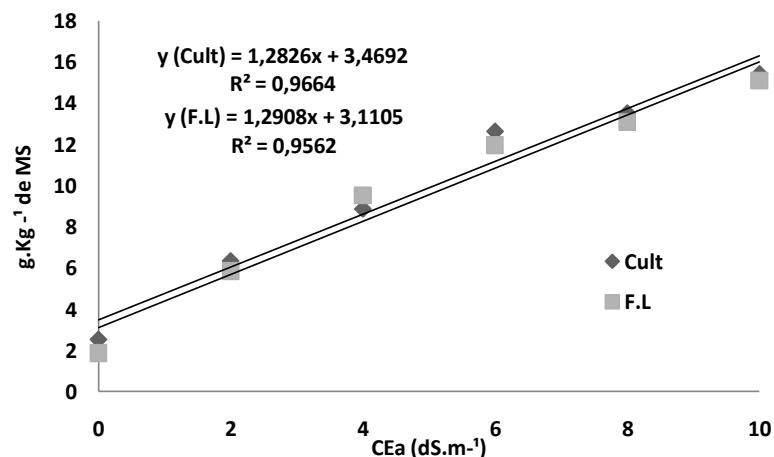


**Figura 17** – Teores de Sódio da Parte Aérea e da Raiz em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

O incremento do teor de  $\text{Na}^+$  foi similar ao de  $\text{Cl}^-$  ambos na ordem de 500% no maior nível de sal (Figura 18). As células das raízes absorvem o  $\text{Cl}^-$  a partir da solução do solo por meio de um processo denominado de co-transporte  $\text{H}^+/\text{Cl}^-$  (simporte) quando a concentração externa de cloreto é baixa. Sob condições salinas, entretanto, a absorção do  $\text{Cl}^-$  se dá, ademais, por meio de canais aniônicos.

A seletividade e a magnitude do transporte de  $\text{Cl}^-$  pode ser controlada por transportadores específicos e pela habilidade em restringir o fluxo de  $\text{Cl}^-$  para a parte aérea, evitar seu efeito tóxico é uma característica genotípica (WHITE & BROADLEY, 2001). O cloreto não é retido nem adsorvido pelas partículas do solo, deslocando-se facilmente com a água do solo, mas é absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula pela transpiração.





**Figura 18** – Teores de Cloreto da Parte Aérea em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

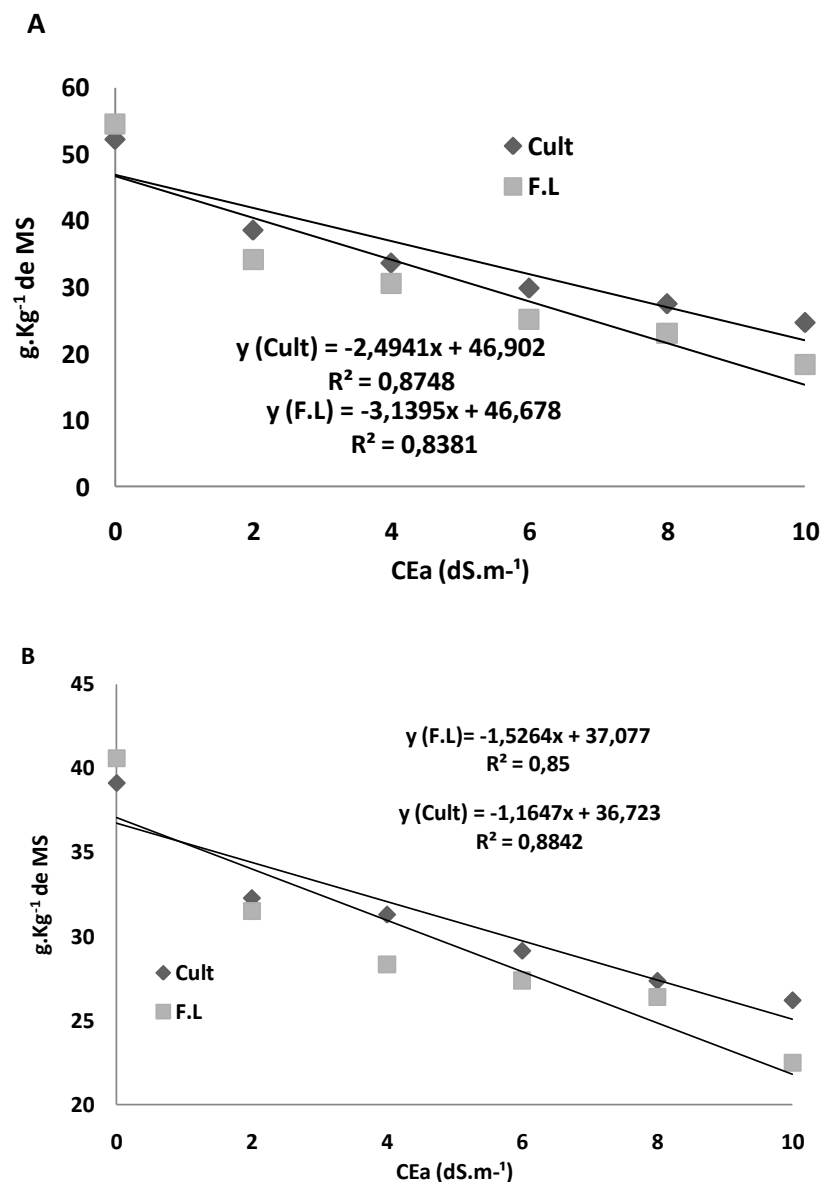
O primeiro sintoma de toxidez deste íon, evidenciado nas plantas, é a queima do ápice das folhas que, em estágios avançados, atinge as bordas e promove sua queda prematura nas culturas sensíveis. Os sintomas aparecem quando se alcançam concentrações de 0,3 a 1,0% de cloreto, em base de peso seco das folhas. A toxicidade do sódio é mais difícil de diagnosticar que a do cloreto, porém tem sido identificada claramente como resultado de alta proporção de sódio na água. Ao contrário dos sintomas de toxicidade do cloreto, que têm início no ápice das folhas, os sintomas típicos do sódio aparecem em forma de queimaduras ou necrose, ao longo das bordas. As concentrações de sódio nas folhas alcançam níveis tóxicos após vários dias ou semanas e os sintomas aparecem, de início, nas folhas mais velhas e em suas bordas e, à medida em que o problema se intensifica, a necrose se espalha progressivamente na área internerval, até o centro das folhas (SILVA JÚNIOR, 2007). Ambas as cultivares apresentaram sintomas de toxidez do NaCl, caracterizados como manchas ao longo do limbo foliar, evoluindo para clorose e queima das bordas (Figura19). Resultados similares já haviam sido constatados em genótipos de bananeira, Tungia e Calcuttá (SILVA JÚNIOR, 2007), submetidos a 100 mol.m<sup>-3</sup> de NaCl.



**Figura 19** - Sintomas de toxidez do NaCl em folhas de rúcula

Os teores de potássio da parte aérea e raiz foram reduzidos linearmente pela salinidade, nas duas cultivares analisadas, segundo análise de regressão (Figura 20). Essa redução foi de 66% e 53% na parte aérea para as cultivares Folha Larga e Cultivada, respectivamente e 44% e 33% na raiz, respectivamente, em relação ao tratamento controle. Em altas condições de salinidade, as plantas mantêm geralmente elevadas concentrações de  $\text{Na}^+$  e baixas concentrações de  $\text{K}^+$  no citosol (TAIZ & ZEIGER, 2004). Vários trabalhos confirmam esta afirmativa, seja em plantas halófitas (Brilhante, 2006), ou glicófitas (AZEVEDO NETO et al., 2004; NETONDO et al., 2004).

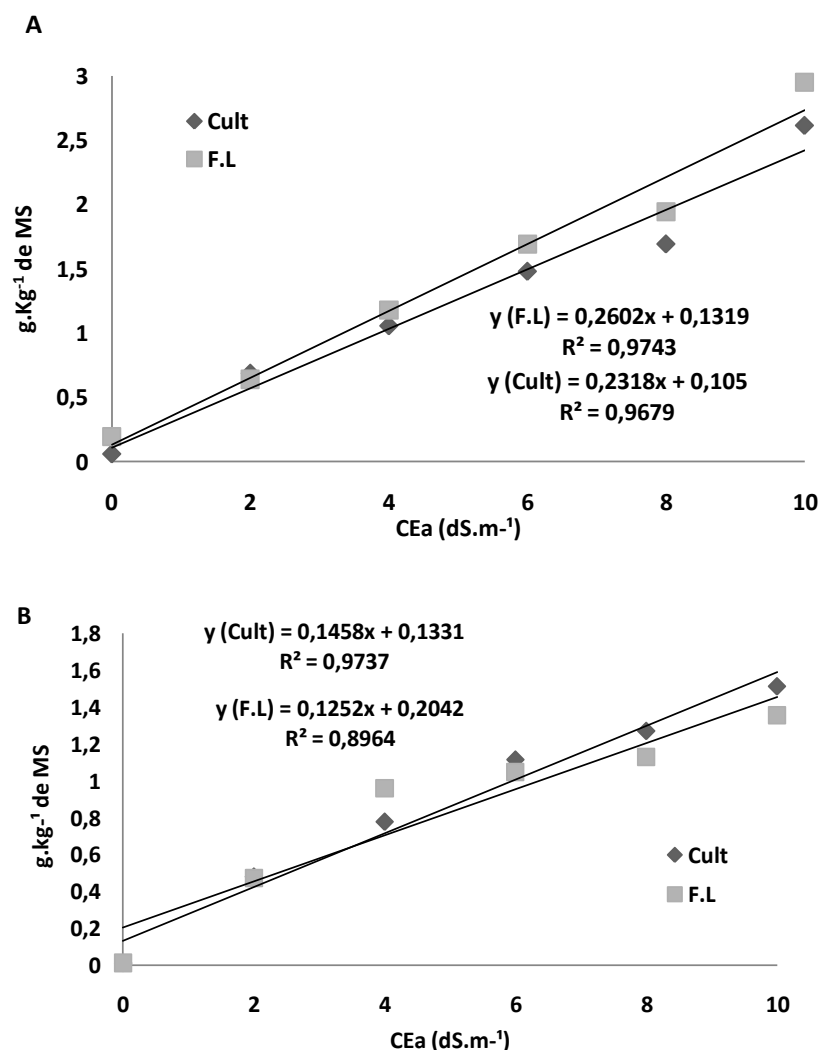
O  $\text{K}^+$  está envolvido no balanço de cargas no citoplasma, contrabalançando as cargas negativas de algumas proteínas e ácidos nucléicos; é ativador de reações enzimáticas vitais; contribui significativamente para a manutenção do potencial osmótico do vacúolo e turgor celular e, é essencial também na síntese de proteínas (TESTER & DAVENPORT, 2003).



**Figura 20** – Teores de Potássio da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

A relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  apresentou tendência similar dos teores de sódio e cloreto com o aumento da salinidade, ajustando-se ao modelo linear crescente, segundo análise de regressão (Figura 21).

O aumento da relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  foi observado em várias culturas como a alface (VIANA et al., 2004) e pupunha (FERNANDES et al., 2002), sob estresse salino. Essa relação é usada como um índice que permite estimar a toxidez de íon  $\text{Na}^+$ , uma vez que esse cátion inibe a atividade das enzimas dependentes de íon  $\text{K}^+$ .

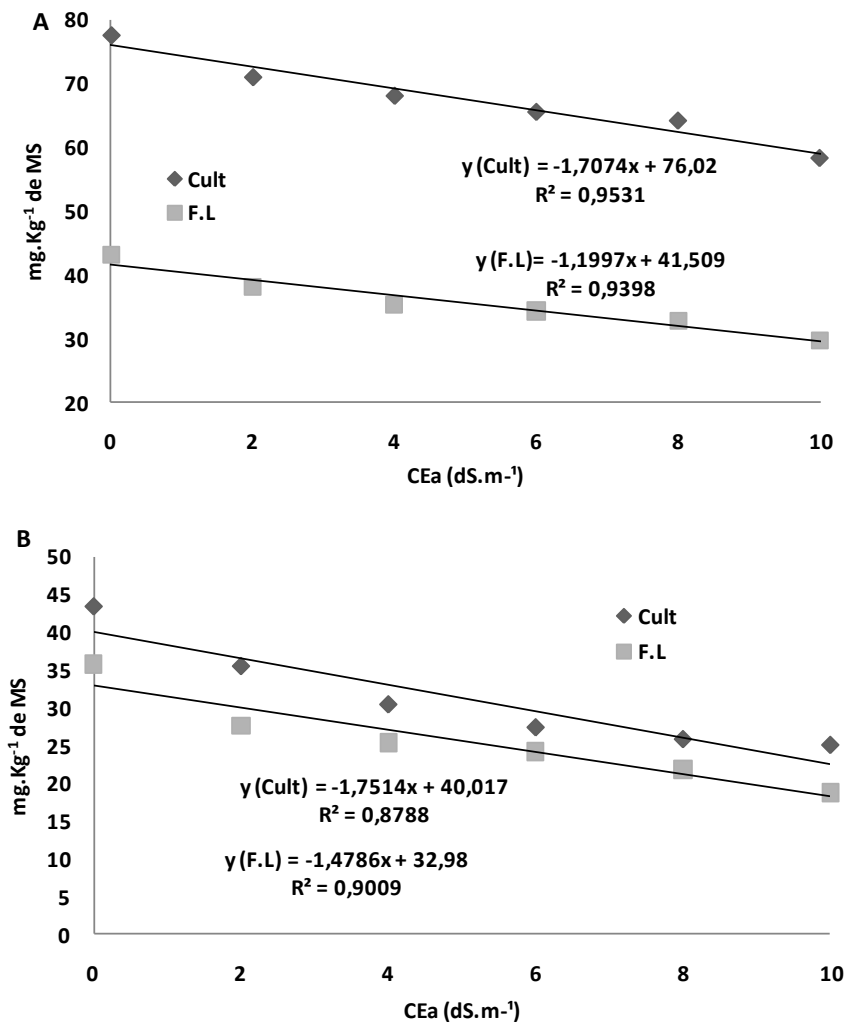


**Figura 21** – Teores de relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

A capacidade de manter uma relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  relativamente baixa no citoplasma (cerca de 0,6) e a habilidade de transportar os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  para longe dos sítios do metabolismo primário (folhas) são duas condições críticas para que ocorra o crescimento da planta em condições salinas (TESTER & DAVENPORT, 2003). Uma alta relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  e alta concentração de sais totais inativam as enzimas e inibem a síntese protéica (TAIZ & ZEIGER, 2004). Segundo Munns et al. (2002) níveis de  $\text{NaCl}$  superiores a 100 mM provocam a inibição de uma vasta gama de enzimas.

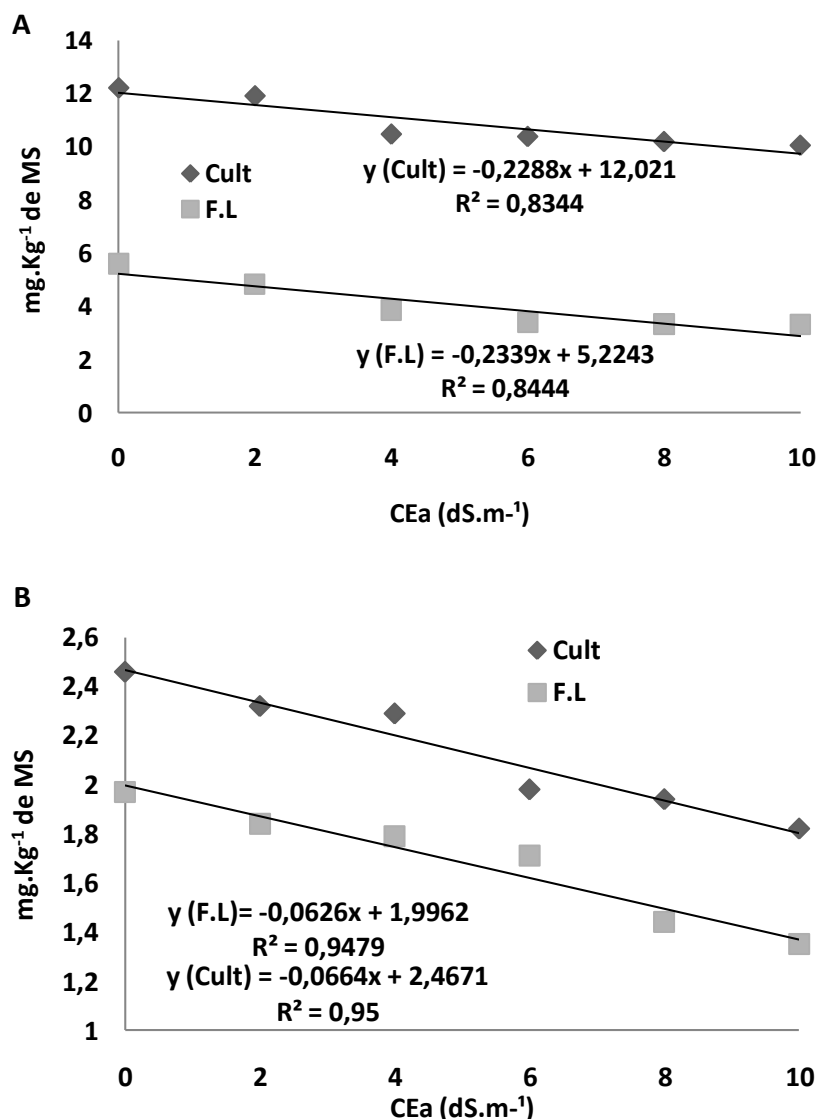
Foi observada diminuição no teor de íon  $\text{Ca}^{2+}$  em função do aumento da salinidade (Figura 22), o que pode resultar na maior sensibilidade da planta ao estresse salino, em razão da importância desse cátion na seletividade das membranas, nos processos de absorção e na compartimentalização iônica (CACHORRO et al., 1994; FERREIRA et al., 2001). Numerosos estudos têm demonstrado que a salinidade induz a

redução nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em várias espécies, tanto na parte aérea como nas raízes (FERREIRA et al., 2001). A redução desse cátion sob estresse salino também foi observado por Neves et al. (2004) em mudas de umbuzeiro, Miranda et al. (2002) em moringa e Viana et al., (2004) em alface.



**Figura 22** – Teores de Cálcio da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada, em função da salinidade.

A redução do teor de  $\text{Mg}^{2+}$  foi semelhante ao de  $\text{Ca}^{2+}$ , entretanto, vale salientar que constitutivamente a cultivar Cultivada apresenta maiores teores destes dois cátions. A redução desses teores na raiz e parte aérea foi linearmente decrescente (Figura 23).



**Figura 23** – Teores de Magnésio da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

O magnésio atua como co-fator em quase todas as enzimas do metabolismo energético, é também integrante da molécula de clorofila, é requerido para a integridade dos ribossomos e contribui efetivamente para a estabilidade estrutural dos ácidos nucleicos e membranas (TAIZ & ZEIGER, 2004), além de participar de inúmeras reações como ativador enzimático, da respiração, absorção iônica e transporte de energia, balanço eletrolítico (MALAVOLTA et al., 1997). Desta forma, é provável que a redução nos teores desse nutriente e dos outros tenha sido um dos fatores que afetaram o metabolismo e, conseqüentemente, reduziram o crescimento das plantas estudadas.

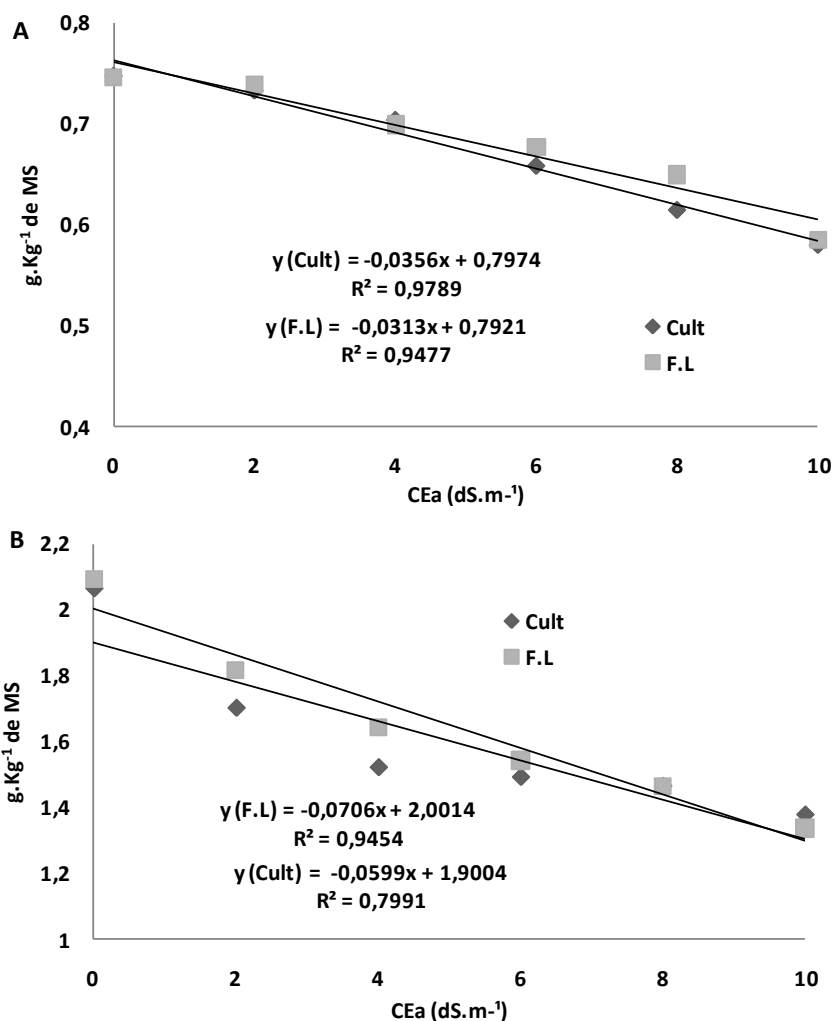
A redução na concentração de P na parte aérea e na raiz foi similar em ambas as cultivares (Figura 24). Esta redução é, provavelmente, resultante da diminuição da

solubilidade deste mineral na presença do NaCl na solução nutritiva, associado a redução da absorção e acumulação de P na parte aérea em função do aumento do teor de Cl<sup>-</sup> (PAPADOPOULOS & RENDING, 1983). A redução do P em função do incremento da salinidade ajustou-se ao modelo linear decrescente.

Via de regra, a salinidade diminui a concentração de P no tecido das plantas, devido aos efeitos de força iônica e diminuição da solubilidade deste mineral com o aumento dos níveis de NaCl no solo. Em muitos casos, a concentração de P nos tecidos das plantas pode reduzir de 20 a 50%, em ambientes salinos, sem evidências de deficiência de P nas plantas (Sharpley et al., 1992). Martinez & Lauchili (1995) verificaram diminuição na absorção e translocação de fósforo em plantas de algodão na presença de altos níveis de NaCl; Awad et al. (1995) observaram absorção de fósforo pela cultura do tomateiro, apenas em baixos níveis de NaCl.

A interação entre salinidade e o teor de fósforo nas plantas é complexa e dependente de espécie, cultivar, estágio fonológico da planta, concentração de fósforo no substrato, tipos de sais e nível de salinidade (Grattan & Grieve, 1999).

A diminuição na absorção e translocação de fósforo, na presença de altos níveis de NaCl, foi verificada em plantas de algodão (MARTINEZ & LAUCHILI, 1995) em tomateiro, em baixos níveis de NaCl (AWAD et al., 1995) e na absorção de fósforo em pupunheira (FERNANDES et al., 2002). A interação entre salinidade e o teor de fósforo nas plantas é complexa e dependente de espécie, cultivar, estágio fonológico da planta, concentração de fósforo no substrato, tipos de sais e nível de salinidade (GRATTAN & GRIEVE, 1999). Malavolta et al. (1997) relatam a importância do fósforo como fundamental para o crescimento das plantas por ser constituinte da molécula de ATP, DNA, RNA, nucleotídeos, ácido fítico, coenzimas.

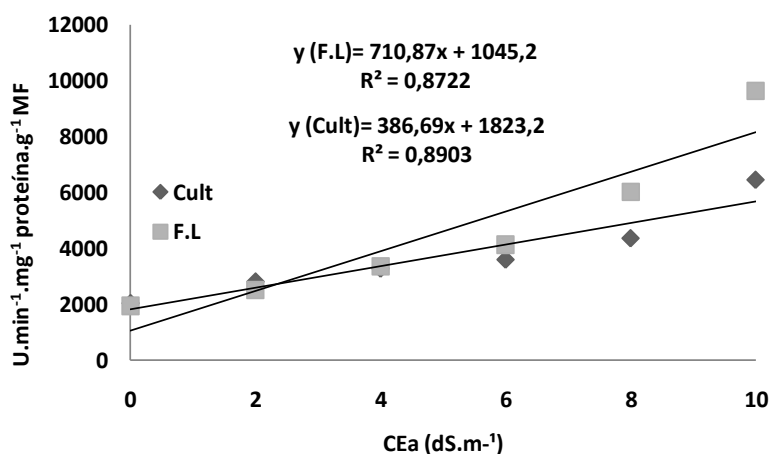


**Figura 24.** Teores de Fósforo da Parte Aérea (A) e da Raiz (B) em plantas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada em função da salinidade.

A atividade das enzimas catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX) e polifenoloxidase (PPO) aumentou significativamente em função do incremento da salinidade na solução nutritiva. É conhecido que o estresse salino pode estimular ou inibir enzimas, que estão associadas às mudanças nos processos fisiológicos de plantas submetidas ao estresse. De um modo geral, a atividade das enzimas do sistema antioxidativo aumenta sob estresse salino (MITTOVA et al., 2003). A relação positiva entre a capacidade antioxidativa e a tolerância ao NaCl vem sendo demonstrada em várias espécies de plantas (MADHANIA et al., 2006) como por exemplo em trigo (SAIRAN et al., 2002), amora (SUDHAKAR et al., 2001), milho (SREENIVASULU et al., 1999) e algodão (MELONI et al., 2003). Observou-se um incremento linear da atividade da CAT em função da presença de NaCl no meio de cultura, em ambas as cultivares (Figura 25), possivelmente devido ao aumento do peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a nível celular. A maior atividade de enzimas sequestradoras do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



desempenha um importante papel na adaptação de plantas sob condições salinas por mediar a regulação dos níveis de  $H_2O_2$ , evitando seu acúmulo a níveis tóxicos (HARIR & MITLLER, 2009). CAT e APX pertencem a duas classes diferentes de enzimas em função das suas afinidades ao  $H_2O_2$ . Assim, enquanto a APX pode ser responsável por uma fina modulação da resposta às ROS, a CAT é provavelmente responsável pela remoção do excesso de ROS durante o estresse (Mittler, 2002).

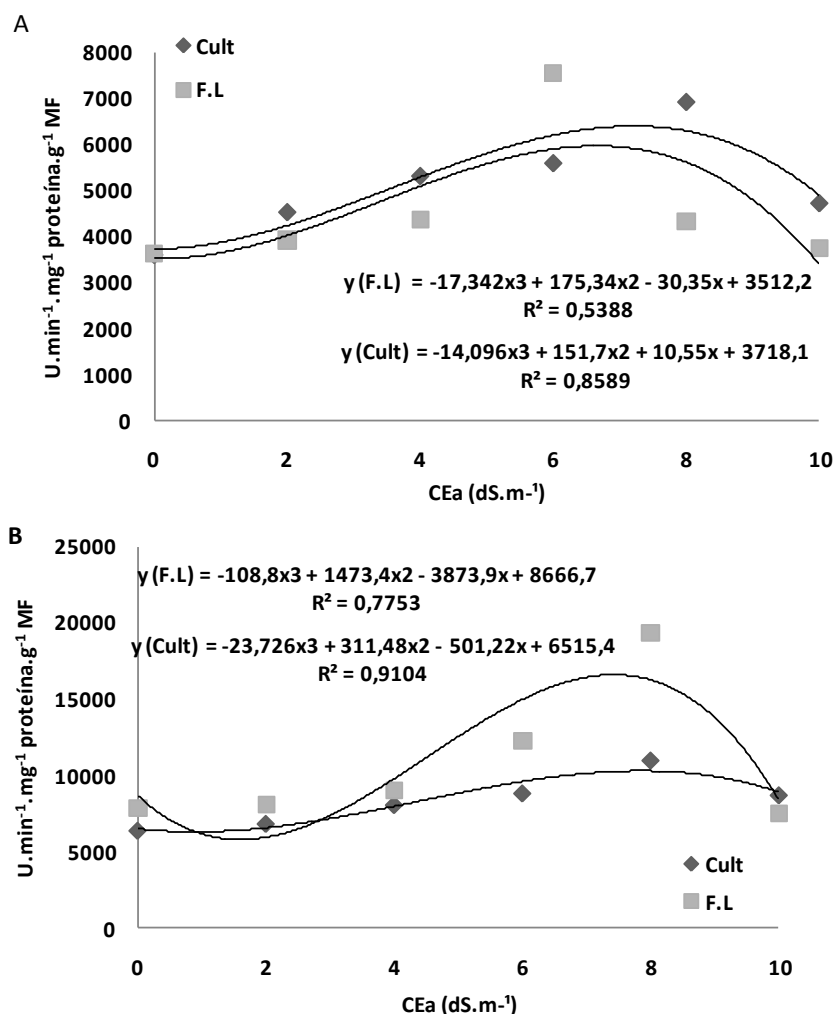


**Figura 25** – Atividade da enzima Catalase em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada, em função da salinidade.

A cultivar Folha Larga apresentou maior atividade da CAT do que a cultivar Cultivada, sugerindo uma maior eficiência da cultivar Folha Larga em reduzir os danos do estresse oxidativo sob concentrações elevadas de sal. Genótipos de amora mais tolerantes ao estresse salino apresentaram maior incremento na atividade da CAT do que os genótipos sensíveis à salinidade (SUDHAKAR et al., 2001). Sairan et al. (2002) também observaram maior atividade desta enzima nos genótipos de trigo tolerantes ao estresse salino e sugeriram que a elevada atividade da CAT tem um papel importante, conferindo tolerância às cultivares. Resultados similares foram encontrados por Agarwal & Pandey (2004), que verificaram aumento da CAT em plântulas de *Cassia angustifolia* L. submetidas a 20, 50 e 100 mM de NaCl. O incremento na atividade da CAT também foi constatado em folhas de arroz de genótipos tolerantes à salinidade (LIMA, 2008).

A maior atividade das enzimas APX e PPO foi observada nos níveis de 80 mM de sal, para as duas cultivares, sendo pico da APX na cultivar Folha Larga atingido a 60 mM de NaCl. A partir desses níveis a atividade apresentou uma queda progressiva na

atividade dessas enzimas, indicando uma possível inativação das mesmas em função de estresse excessivo (Figura 26).



**Figura 26** – Atividade das enzimas APX e PPO em folhas de rúcula das cultivares Folha Larga e Cultivada, em função da salinidade.

Geralmente o maior incremento na atividade da APX caracteriza genótipos com maior tolerância ao NaCl como constatado em *Sesamum indicum* (KOCA et al., 2007), *Beta vulgaris* (BOR et al. 2003), *Lycopersicon* (MITTOVA et al. 2002; MONTEIRO 2010), e *Vigna unguiculata* (MAIA et al., 2010).

A polifenoloxidase (PPO) apresentou um efeito marcante de aumento de atividade na cultivar Folha Larga. O aumento da PPO em tratamentos com NaCl já tinha sido registrado em folhas de *Cassia angustifolia* L. (AGARWAL & PANDEY, 2004), de *Momordica charantia* L (AGARWAL & SHAHEEN, 2007), e em plântulas de *Phaseolus vulgaris* L (DEMIR & KOCAÇALISKAN, 2001). As polifenoloxidases (PPO) catalisam reações com fenóis (mono e difenóis) que envolvem oxigênio

(GOMES et al., 2001), sendo considerada útil na defesa ao estresse oxidativo induzido pela salinidade (AGARWAL & PANDEY, 2004).

## 5 CONCLUSÕES

As variáveis biométricas avaliadas em ambas as variedades estudada, como peso fresco e seco da parte aérea, peso seco da raiz, altura, taxa de crescimento relativo e absoluto reduziram consideravelmente com o incremento da salinidade na solução nutritiva, com exceção do número total de folhas que não apresentou correlação com a salinidade.

Os elevados teores de sódio e cloreto, na parte aérea e raízes, das plantas submetidas ao estresse salino provocaram uma redução significativa dos teores de potássio, cálcio, magnésio, e fósforo em ambas as cultivares, além de sintomas de toxidez como clorose necrose nas folhas e posterior senescência da mesma.

Houve um incremento do conteúdo de clorofila a, b e total e de prolina em função do aumento dos níveis de salinidade refletindo que houve uma proteção do aparato fotossintético e ativação de um mecanismo de defesa contra o estresse salino.

A atividade das enzimas como catalase, peroxidase do ascorbato e polifenoloxidase foi aumentada em função da salinidade, ficando evidente o caráter oxidativo do estresse salino sob as duas cultivares de rúcula e, paralelamente, constatou-se a capacidade de ambas de ativar o sistema enzimático antioxidativo na defesa contra o excesso de radicais livres.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGARWAL, S.; PANDEY, V. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifolia*. **Biologia Plantarum**, v.48, p.555-560, 2004.
- AGARWAL, S.; SHAHEEN, R. Stimulation of antioxidant system and lipid peroxidation by abiotic stresses in leaves of *Momordica charantia*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p. 149-161, 2007.
- ALBERICO, G.J.; CRAMER, G.R. Is the salt tolerance of maize related to sodium exclusion? I. Preliminary screening of seven cultivares. **Journal of Plant Nutrition**, v.16, n.11, p.2289-2303, 1993.
- ALENCAR, R. D.; PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F. DE; HOLANDA, J. S.; PORTO, V. C. N.; FERREIRA NETO, M. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.221-226, 2003.
- AL-KARARI, G.; AL-AJMI, A.; OTHMAN, Y. Response of soilless grown bell pepper cultivar to salinity. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.807, p. 227-232, 2009.
- ALLAKHVERDIEV, S.; SAKAMOTO, A.; NISHIYAMA, Y.; MURATA, N. Inactivation of photosystems I and II in response to osmotic stress in *Synechococcus*: contribution of water channels. **Plant Physiology** v. 122, p. 1201-1208, 2000.
- ANDRIOLO, J.L. Fisiologia das culturas protegidas. Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.
- AQUINO, A. J. S. Avaliação do crescimento e dos mecanismos de tolerância à salinidade em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com águas salinas. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 90f. 2005.
- ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, n.1, p.1-15, 1949.
- ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, p. 1-11, 2006.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v.166, p.3-16, 2004.
- AWAD, A.S.; EDWARDS, D.G.; CAMPBELL, L.C. Phosphorus enhancement of salt tolerance of tomato. **Crop Science**, Madison, v.30, n. 1, p. 123-128, 1995.
- AYERS, R.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. "Water Quality for Agriculture". FAO. Tradução Gheyi. H. R. & Medeiros, JF de, UFPB.Campina Grande-PB, 217 p. 1999.
- AZEVEDO NETO, A. D. et al. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 16, n. 01, p. 31-38, 2004.

AZEVEDO NETO, A.D. Estresse salino, estresse oxidativo e tolerância cruzada em plantas de milho. In: NOGUEIRA, R.J.M. C.; ARAÚJO, E.L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTI, U.M.T. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, **Imprensa Universitária**, 2005.

AZEVEDO, A.D.; TABOSA, J.N. Estresse salino em plântulas de milho: parte II distribuição dos macronutrientes catiônicos e suas relações com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.165-171, 2000.

AZEVEDO, R.A. et al. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v.104, p.280-292, 1998.

BAILLE, A. Water status monitoring in greenhouse crops. **Acta Horticulturae**, The Hague, v.304, p.15-27, 1994.

BARRETO, L.P. Estudo nutricional e bioquímico do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) sob estresse salino. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 179f.1997.

BATES, L.; WALDREN, P.P.; TEARE, J.D., Rapid determination of the free proline of water stress studies. **Plant Soil** v.39, p.205-207. 1973.

BELTRAN, J. M. Irrigation with saline water: Benefits and environmental impact. **Agricultural Water Management**, v.40, n.2, p.183-194, 1999.

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

BENINI, E.R.Y.; TAKAHASHI, H.W.; NEVES, C.S.V.J.; FONSECA, I.C.B. Teor de nitrato em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.183-186, 2002.

BERNSTEIN, N; SILK, W. K.; LÄUCHLI, A.. Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress. **Planta**, Heidelberg, v.191, p.433. 439, 1993.

BIONE, M.A.A.; SILVA, A.O.; SILVA, D.J.R.; SOARES, T.M.; SILVA, E.F.F. Produção de rúcula em águas salobras em sistema hidropônico NFT nas condições de Ibimirim-PE. IN: JORNADA DE ENSINO , PESQUISA E EXTENSÃO. 9., 2009, Recife. **Resumos...** Recife: UFRPE; 2009. CD-ROM.

BOHNERT H. J.; SHEVELEVA, E. Plant stress adaptations making metabolism move. **Curr Opin Plant Biol**. v.3, p.267-74, 1998.

BOHNERT, H.J.; JENSEN, R.G. Strategies for engineering water stress tolerance in plants. **Trends in Biotechnol**. 14: p.89-97, 1996.

BOHNERT, H.J.; SHEN, B. Transformation and compatible solutes. **Scientia Horticulturae**, v. 237, p. 78-260, 1999.

BOR, M., OZDEMIR, F., TURKAN, I., The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in leaves of sugar beet *Beta vulgaris* L. and wild beet *Beta maritima* L. **Plant Sci.** 164, 77-84. 2003.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 1.469, Diário Oficial da União, Brasília. 29 de Dez de 2000.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stresses. In: BUCHANAN, B. B., GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Ed.). **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**. Rockville: ASPP, p.1158-1203. 2000.

BRILHANTE, J. C. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no potencial osmótico de folhas de *Atriplex nummularia* submetidas ao NaCl, seca e PEG. 2006. 195 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

BUCHANAN B, GRUISSEM W, JONES R. **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Ed. American Society of Plants Physiologists. 2000.

CACHORRO, P. et al. Growth water relations and solute composition of *Phaseolus vulgaris* L. under saline conditions. **Plant Science**, Limerick, v.95, p.23-29, 1994.

CALDEVILLA, E.M.:LOZANO, M.G. Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterraneo. **Reus: Ediciones de horticultura**, 1993. p.12.

CANO, M.P. et al.. Differences among Spanish and Latin-American banana cultivares: morphological, chemical and sensory characteristics. **Food Chemistry**, v.59 p.411-19. 1997

CARDOSO, G. G. G.; KLAR, A. E. Potenciais de água no solo na produção de alface. **Irriga**, v.14, n.2, p.170-179, 2009.

CARMO, G. A.; MEDEIROS, J. F.; TAVARES, J. C. Crescimento de bananeiras sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n. 3. 2003.

CARUSO, G.; VILLARI, G. Effect of EC-level and plant shanding on the NFT-grown "Friariello Pepper". **Acta Horticulturae**, Wageningen. v. 659, p.576-585, 2004.

CASSELLS, A.C.; CURY, R.F. Oxidative stress and physiological, epigenetic and genetic variability in plant tissue culture: implications for micropropagators and genetic engineers. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v.64, p.145-157, 2001.

COSTA, A. M. B.; MELO, J. G.; SILVA, F. M. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v.20, n.1, p.67-82, 2006.

COSTA, J. S.; JUNQUEIRA AMR. Diagnóstico do cultivo hidropônico de hortaliças na região do Distrito Federal. **Horticultura Brasileira** v.18, p.49-52, 2000.

COSTA, P. C.; DIDONE, E. B.; SESSO, T. M.; CAÑIZARES, K. A. L.; GOTO, R. Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção da alface em hidroponia. **Scientia Agricola**, v.58, n.3, p.595-597, 2001.

COSTA, W. D. Problemática da água subterrânea no nordeste brasileiro. **Revista Águas Subterrânea**, v.14, p.25-42, 1995.

CUNHA, P.C. Aspectos Fisiológicos e Bioquímicos de *jatropha curcas* L. Cultivada sob Estresse Salino. Dissertação (Mestrado em Botânica) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 60f. 2009.

DASGAN, H.Y.; AKTAS, H.; ABAK, K. & CAKMAK. I. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotypes responses. **Plant Sci.**, v.163, p.695-703, 2002.

DEBOUBA, M. *et al.* NaCl stress effects on enzymes involved in nitrogen assimilation pathway in tomato "*Lycopersicon esculentum*" seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 163, n. 12, p. 1247-1258, 2006.

DEMIR, Y.; KOCAÇALISKAN, I. Effects of NaCl and proline on polyphenol oxidase activity in bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.) grown by embryo culture. **Biologia Plantarum**, v.44, p.607-609, 2001.

DOW, A.I.; CLINE, T. A.; HORNING, E. V.; Salt tolerance studies on irrigated mint. **Bulletin of Agriculture Research Center**, Washington State University, Pullman, no. 906, p 11, 1981.

FAO (Food Agriculture Organization): crops & livestock primary & processed. Disponível em: <<http://fao.org.br>> Acessado em: 24 setembro 2010.

FAQUIN, V.; FURLANI, P.R. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.99-104, 1999.

FERNANDES, A. R.; CARVALHO, J. G.; CURI, N.; PINTO, J. E. B. P. & GUIMARÃES, P. T. G. Nutrição mineral de mudas de pupunheira sob diferentes níveis de salinidade. **Pesq. Agropec. Bras.**, 37:1613-1619, 2002.

FERNANDES, A.A.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; FONSECA, M.C.M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, p.195-200, 2002.

FERNANDES, A. R.; CARVALHO, J. G.; CURI, N.; PINTO, J. E. B. P.; GUIMARÃES, P.T. G. Nutrição mineral de mudas de pupunheira sob diferentes níveis de salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1613-1619, 2002.

FERREIRA, R. G. et al. Distribuição da matéria seca e composição química das raízes, caule e folhas de goiabeira submetida a estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.79-88, 2001.



FILGUEIRA, F.A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402p. : p. 40 - 135, 288 - 295.

FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2002. p. 402.

FLORES, H.E. Polyamines and plant stress In: LASCHER, R.G.; CUMMING, J.R. Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms. New York, Wileyliss, p. 217-39, 1990.

FOYER, C. H.; HALLIWELL, B. The presence of glutathione and glutathione reductase in chloroplasts: a proposed role in ascorbic acid metabolism. **Planta**, v. 133, p. 21-25, 1976.

FUMIS, T. F., PEDRAS, J.F., Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.449-459, 2002.

FURLANI, P.R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT. Campinas: IAC, 1998. 30 p. (IAC. Boletim Técnico, 168).

GARCIA, G. O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E. F.; MORAES, W. B.; NAZÁRIO, A. A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agrônômica**, v.39, n.1, p.7-18, 2008.

GARCÍA-VALENZUELA, X., E. GARCÍA-MOYA, Q. RASCÓN-CRUZ, L. HERRERAESTRELLA AND G.A. AGUADO-SANTACRUZ,. Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyll cells. **J. Pl. Physiol.**, v.162, p. 650–61 2005.

GOMES, M.R.A.; OLIVEIRA, M.G.A.; CARNEIRO, G.E.S.; BARROS, E.G.; MOREIRA, M.A. Propriedades físico-químicas de polifenoloxidase de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência & Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.1, p.69-72, 2001.

GRATTAN, S.R., LAMENTA, M. Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environments. In: Pessarakli, M. (Ed.), **Handbook of Plant and Crop Stress**. New York, Marcel Dekker, p. 203-226, 1994.

GRATTAN, S.R.; GRIEVE, C.M.; Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**. V.78, n.1, p.127-157, 1999.

GREENWAY, H.; MUNNS, R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. **Annual Review of Plant Physiology**, v.31, p.149-190, 1980.

GUSMÃO, S. A. L.; LOPES, P. R. de A.; S. W. V. D.; OLIVEIRA NETO, C. F.; PEGADO, D. S.; SILVA, C. L. P. da.; SANTOS, L. F. da S.; FERREIRA, S. G. Cultivo de rúcula nas condições do trópico úmido em Belém. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.2, jul. 2003. Suplemento. CD-ROM. (Trabalho apresentado no 43º CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 2003).

HANSON A, NELSEN CE, EVERSON EH. Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivares. **Crop Science**; v.17 p.720-726. 1977.

HARDER, W.C. Produção e renda bruta de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) 'Cultivada' e de almeirão (*Cichorium intybus* L.) 'Amarelo', em cultivo solteiro e consorciado. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2004.

HARIR, Y. & MITTLER, R. The ROS Signaling Network of Cells. In: DEL RIO, L. A. & PUPPO, A. (Ed.). Reactive oxygen species in plants signaling. BERLIN, Springer-Verlag, cap. 10, p. 165-174, 2009.

HOEKSTRA, FA.; GOLOVINA, E.A.; BUITINK, J. Mechanisms of plant desiccation tolerance. **Trends Plant Sci.** V.6: p.431-438, 2001.

JUAN, J. A. M. S. Desalación de águas salobres y de mar. Osmose inversa. Madrid: Mundi-Prensa. 395p. 2000.

KAVI KISHOR, P. B.; SANGAM, S.; AMRUTHA, R. N.; SRI LAXMI, P.; NAIDU, K. R.; RAO, S. S.; RAO, S.; REDDY, K. J.; THERIAPPAN, P.; SREENIVASULU, N. Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. **Current Science**, v.88, n.23, p.424-438, 2005.

KOCA, M., BOR, M., OZDEMIR, F., TURKAN, I. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivares. *Environ. Exp. Bot.* 60, 344–351. 2007.

KRAUS, T.E. et al. Paclobutrazol-induced tolerance of wheat leaves to paraquat may involve increased antioxidant enzyme activity. **Journal of Plant Physiology**, v.145, p.570-576, 1995.

KUMAR, G.P.; YADAV, S.K.; THAWALE, P.R.; SINGH, S.K.; JUWARKAR, A.A. Growth of *Jatropha curcas* on heavy metal contaminated soil amended with industrial wastes and *Azotobacter* – A greenhouse study. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 2078– 2082, 2008.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.47, n.2, p.107-120, 2003.

LACERDA, C.F. Interação salinidade x nutrição mineral. In: NOGUEIRA, R.J.C.; ARAÚJO, E.L.; WILLADINO, L.G. & CAVALCANTE, U., eds. Estresses ambientais: Danos e benefícios em plantas. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, p.127-137. 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2004.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Trad. Carlos Henrique B. A. Prado. São Carlos: RIMA p.531, 2000.

LÄUNCHLI, A.; EPSTEIN, E. Plant responses to saline and sodic conditions. In: Tanji, K.K. (ed), **Agricultural Salinity Assessment and Management**. American Society of Civil Engineers. p. 113-137. 1990.

LIMA, A. B. Respostas fisiológicas e bioquímicas de cultivares de coentro (*Coriandrum Sativum* L.) Submetidas ao estresse salino. Dissertação de mestrado em botânica – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Departamento de Biologia. 55f. 2008.

LIMA, C.B., SANTOS FILHO, S.V., SANTOS, M.A., OLIVEIRA, M. Influência da água salina nas características físico-químicas do solo e no desenvolvimento da mamoneira cultivada em vasos. **Revista Caatinga** 2007; 20: 132-136.

LIMA, G. P. P.; PIZA, I. M. T.; MOSCA, J. L.; LACERDA, S. A.; GIANNONI, J. A. Poliaminas e atividade da peroxidase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob estresse salino. **Scientia Agrícola**, v.56, p.21-26, 1999.

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

MAATHIUS, F.J.M., AND AMTMANN, A.  $K^+$  nutrition and  $Na^+$  toxicity: the basis of cellular  $K^+/Na^+$  ratios. **Annals of Botany** v. 84, n. 02, p. 123-133, 1999.

MAIA, J. M.; VOIGHT, E. L.; MACEDO, C. C. E.; FREITAS JBS, SILVEIRA J. A. G. Antioxidative enzymatic protection in leaves of two constricting cowpea cultivares und salinity. **Biol. Plant.** v.54, p.159-163. 2010.

MAKISHIMA, N. O cultivo de hortaliças. Brasília: EMBRAPA-CNPq: EMBRAPA-SPI, 1993. (Coleção Plantar, 4)

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas : princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MALFA, G.L.; LEONARDI, C. Crop practices and techniques. **Acta Horticulturae**, v.559, p.31-39, 2001.

MANDHANIA, S.; MADAN, S.; SAWHNEY, V. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. **Biologia Plantarum**, v. 50, p. 227-231, 2006.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3. ed. London: Academic Press, 2002. 889 p.

MARTÍNEZ, F.C. Sistemas de cultivos hidropónicos. In: MILAGROS, M.F.; GÓMEZ, I.M.C. (ED.). Cultivos sin suelo II. Curso Superior de Especialización. Almería: DGIFA-FIAPA-Caja Rural de Almería, p.207-228, 1999

MARTINEZ, V.; LAUCHLI, A. Phosphorus translocation in salt stressed cotton. **Plant Physiology**, Rockville, v.83, p.627-632, 1995.

MÄSSER, P.; GIERTH, M.; SCHROEDER, J.I. Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants. **Plant and Soil**, v.247, p. 43-54, 2002.

- MEDEIROS, C.A.B.; ZIEMER, A.H.; DANIELS, J.; PEREIRA, A.S. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.1, p.110-114, 2002.
- MEDEIROS, J.F.; MEDEIROS, D.S.; PORTO FILHO, F.Q.; NOGUEIRA, I.C.C. Efeitos da qualidade da água de irrigação sobre o coentro cultivado em substrato inicialmente salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.22-26, 1998.
- MEHDY, M. C.; SHARMA, Y.K.; SATHASIVAN, K; BAYS, N. W. The role of activated oxygen species in plant diseases resistance. **Physiol. Plant**. v.98, p.365-374, 1996.
- MELLONI, R.; SILVA, F. A. DE M. & CARVALHO, J. G. Cálcio, magnésio e potássio como amenizadores dos efeitos da salinidade sobre a nutrição mineral e o crescimento de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*). **CERNE**, v.6, n.2, p.035-040, 2000.
- MELONI, D.A.; OLIVA, M.A.; MARTINEZ, C.A.; CAMBRAIA, J. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, p. 69–76, 2003.
- MENDES, B. S. S.; Efeitos Fisiológicos e Bioquímicos do Estresse salino em *ananas porteanus* hort veitch ex c. Koch. 50f. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2009.
- MIAO, S. L. et al. Resistance of maternal nutrient effects in *Plantago major* the third generation. **Ecology**, Tempe, v.72, p.1634-1642, 1991.
- MINAMI, K.; TESSARIOLI NETO, J. A cultura da rúcula. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1998. 19 p.
- MIRANDA, J.R.P.; CARVALHO, J.G.; SANTOS, D.R.; FREIRE, A.L.O.; BERTONI, J.C.; MELO, J.R.M. & CALDAS, A.L. Silício e cloreto de sódio na nutrição mineral e produção de matéria seca de plantas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.). **R. Bras. Ci. Solo**, 26:957-965, 2002.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends Plant Sci**. v.7, p.405- 410. 2002.
- MITTOVA, V.; TAL, M.; VOLOKITA, M.; GUY, M. Up-regulation of the leaf mitochondrial and peroxisomal antioxidative systems in response to salt-induced oxidative stress in the wild salt-tolerant tomato species *Lycopersicon pennellii*. **Plant, Cell and Environment**, v. 26, p. 845–856, 2003.
- MIYAKE, C.; ASADA, K. Thylakoid-Bound Ascorbate Peroxidase in Spinach Chloroplasts and Photoreduction of Its Primary Oxidation Product Monodehydroascorbate Radicals in Thylakoids. **Plant and Cell Physiology**, v. 33, n. 5, p. 541-553, 1992.
- MOLDES, C.A.; MEDICI, L.O.; ABRAHÃO, O.S.; TSAI, S.M.; AZEVEDO, R.A. Biochemical responses of glyphosate resistant and susceptible soybean plants exposed to glyphosate. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 30, p. 469-479, 2008.

- MONTEIRO, C. C. Análise bioquímica do mutante hormonal de tomateiro *Never ripe* (*Nr*) submetido aos estresses por cádmio e salinidade. Dissertação de Mestrado em Ciências - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. São Paulo, 121f. 2010.
- MORAES, C.A.G.; FURLANI, P.R. Cultivo de hortaliças de frutos em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.105-113, 1999.
- MORALES, M.; JANIC, J. Arugula: a promising specialty leaf vegetable. Reprinted from: Trends in new crops and new uses. 2002. Disponível em Acesso em: 10 abr. 2010.
- MUNNS R, TESTER M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Reviews Plant Biology** 2008; 59: 651-81.
- MUNNS R. Physiological processes limiting plant growth in saline soil: some dogmas and hypotheses. **Plant, Cell and Environment** v.16, p.15-24. 1993.
- MUNNS, R. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.57, n.5, p.1025-1043, 2006.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.25, p.239-250, 2002.
- MUNNS, R.. Salinity stress and its impact. In: Blum A, ed. **Plant Stress Website**. 2010.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Spinach chloroplasts scavenge hydrogen peroxide on illumination. **Plant and Cell Physiology**, v. 21, p. 1295-1307, 1980.
- NARDIN, R. R.; CASTELAN, F.; CECÍLIO FILHO, A. B. Efeito da consorciação sobre as produtividades de rúcula e da beterraba estabelecida por transplante de mudas. Brasília, **Horticultura Brasileira**.v.20, n.2, 2002.
- NAVARI-IZZO, F.; QUARTACCI, M.F.; IZZO, R. Water stress-induced changes in protein and free amino acids in field-grown maize and sunflower. **Plant Physiology Biochemistry**, v.28, p.531-537, 1990.
- NETONDO, G. W. et al. Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. **Crop Science**, v. 44, n. 03, p. 806-811, 2004.
- NEUMANN, P. M.; van VOLKENBURGH, E.; CLELAND, R. E. Salinity stress inhibits bean leaf expansion by reducing turgor, not wall extensibility. **Plant Physiology**, Baltimore, v. 88, n. 1, p. 233-237, 1988.
- NEUMANN, P. Salinity resistance and plant growth revisited. **Plant, Cell and Environment**, v.20, n.9, p.1193-1198, 1997.
- NEVES, O. S. C.; CARVALHO J. G.; RODRIGUES C. R. Crescimento e nutrição mineral de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* arr. Cam.) submetidas a níveis de Salinidade em solução nutritiva. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 997-1006, 2004.

OLIVEIRA, L. A. A., BARRETO, L. P., BEZERRA NETO, E., SANTOS M. V. F., COSTA, J. C. A. Solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**; v.41, p.31-5, 2006.

ORCUTT, D.M.; NILSEN, E.T. The physiology of plants under stress-soil and biotic factors. New York: John Wiley e Sons, 2000.

PANG, C. A.; WANG, B. Oxidative Stress and Salt Tolerance in Plants. **Progress in Botany**. vol. 69, p. 231-246, 2008.

PAPADOPOULOS, I.; RENDING, V.V. Interactive effects of salinity and nitrogen on growth and yield of tomato plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.73, n.1, p. 47-57,1983.

PARIDA, R., Principles and Implementation of Data warehousing. Laxmi Publication. 2005.

PAULUS, D. Produção, qualidade e parâmetros fisiológicos e bioquímicos de alface sob hidroponia com águas salinas. p 267. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2008.

PERL-TREVES, R.; PERL, A. Oxidative stress: an introduction. In: \_\_\_\_\_. Oxidative Stress in Plants, 2002.

PIMPINI, F. & ENZO, M. Present status and prospects for rocket cultivation in the Veneto region. In: PADULOSI, S.; PIGNONE, D. Rocket: A mediterranean crop for the world.REPORT OF A WORKSHOP. 1996 Legnaro (Padova), Italy'. **International Plant Genetic Institute**, Rome, Italy. p.51-66, 1997.

PINHEIRO, J. C. V.; CALLADO, S. M. G. Avaliação de desempenho dos dessalinizadores no Ceará. **Revista Econômica do Nordeste**, v.36, n.1, p.43-59, 2005.

PIZA, I.M.T.; LIMA, G.P.P.; BRASIL, O.G. Atividade de peroxidase e concentrações de proteínas em plantas de abacaxizeiro micropropagadas em meio salino. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.9, n.4, p.361-366, 2003.

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C.; SILVA JÚNIOR, L. G. A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.111-114, 2001.

REGHIN, M. Y.; OTTO, R. F.; PRIA, M.D.; FELTRIM, A. L.; VAN DER VINNE, J. Uso da cobertura do solo e da proteção das plantas na produção de rúcula. Brasília, **Horticultura Brasileira**.v.20, n.2, 2002.

ROLLETSCHEK, H.; HARTZENDORF, T. Effects of salinity and convective rhizome ventilation on amino acid and carbohydrate patterns of phragmites australis populations in the neusiedler see region of austria and hungary. **Review Phytologist.**, v. 146, p. 95-105, 2000.

SAIRAM, R. K.; TYAGI, A. Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. **Current Science**, v. 86, n. 03, p. 407-421, 2004.

- SAIRAM, R.K.; RAO, K.V.; SRIVASTAVA, G.C. Differential response of wheat genotypes to long-term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. **Plant Science**, v. 163, p. 1037-1046, 2002.
- SALA, F. C.; ROSSI, F.; FABRI, E. G.; RONDINO, E.; MINMI, K.; COSTA, C. P. Caracterização varietal de rúcula. In: Anais do 44º Congresso Brasileiro de Olericultura. **Horticultura Brasileira**, Campo Grande, v.22, n.2, jul. 2004. Suplemento 2. CD-ROM.
- SANTOS, H.S.; ZATARIM, M.; GOTTO, R. Influência da densidade e do sistema de semeadura na produção de rúcula. Brasília, **Horticultura Brasileira**.v.20, n.2, 2002.
- SANTOS, O. Hidroponia da alface. Santa Maria: UFSM, 2000a, 160 p.
- SANTOS, R.S.S.; DIAS, N.S.; DANTAS, D.C.; NOGUEIRA, F.P.; SOUSA NETO, O.N. Produção de Cultivares de Alface Hidropônica Utilizando Água Salobra na Solução Nutritiva. IN: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 22., 2009. Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.
- SAVVAS, D.; STAMATI, E.; TSIROGIANNIS, I.L.; MANTZOS, N.; BAROUCHAS, P.E.; KATSOULAS, N.; KITTAS, C. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems. **Agricultural Water Management**, v.91, p.102–111. 2007.
- SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, p. 995-1014, 2005.
- SILVA JÚNIOR, G.S. Respostas biométricas, ecofisiológicas e nutricionais em genótipos diplóides de bananeira (*Musa spp*) submetidos à salinidade. Tese (Doutorado em Botânica). Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2007. 106p.
- SILVA, F.A.M.; MELLONI, R.; MIRANDA, J.R.P.; CARVALHO, J.G. Efeito de NaCl no crescimento da aroeira (*Myracrodruon urundeuva*). Lavras: Cerne, 2000.
- SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, p. 71-78, 2002.
- SILVA, F.V. da; Cultivo Hidropônico de Rúcula (*Eruca sativa* Mill) utilizando águas salinas. Piracicaba, 2009, 69f. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIEGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura. Fortaleza, INCT Sal, 2010. p. 472.
- SILVEIRA, J.A.G.; LIMA, J.P.M.S.; CAVALCANTI, F.R.; MAIA, J.M.; VIÉGAS, R.A. Salt induced oxidative response in plants: damage or protection? In: Nogueira, R.J.M.C.; Araújo, E. De L.; Willadino, L.; Cavalcante, U.M.T. (eds). Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife. MXM Gráfica e Editora. parte.II, cap.9, p.106- 117, 2005.

- SMIRNOFF, N.; CUMBES, Q.J. Hydroxyl radical scavenging activity of compatible solutes. **Phytochemistry**, v. 28, p.1057-1060, 1989.
- SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; MELO, R. F.; JORGE, C. A.; BONFIM-SILVA, E. M. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. **Revista Irriga**, v.12, n.2, p.235-248, 2007.
- SOARES, T. M.; SILVA, I. J. O.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F. Destinação de águas residuárias provenientes de dessalinizadores por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.730-737, 2006.
- SOARES, T.M. Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro. 268 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- SREENIVASULU, N.; RAMANJULU, S.; RAMACHANDRAKINI, K.; PRAKASH, H. S.; SHEKAR-SHETTY, H.; SAVITHRI, H.S.; SUDHAKAR, C. Total peroxidase activity and peroxidase isoforms as modified by salt stress in two cultivars of fox-tail millet with differential salt tolerance. **Plant Science**, v.141, p.1-9, 1999.
- STAFF, H. Hidroponia. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1997. 86 p.
- SUDHAKAR, C.; LAKSHMI, A.; GIRIDARAKUMAR, S. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. **Plant Science**, v. 161, p. 613-619, 2001.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3 ed. Porto Alegre: Artmed. 2004. 719p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3ed. Artmed, 2003. 720p.
- TESTER, M., DAVENPORT, R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. **Annals of Botany** 2003; 91: 503-527.
- TRANI, P. E.; GRANJA, N. P.; BASSO, L. C.; DIAS, D.C.F.S.; MINAMI, K. Produção e acúmulo de nitrato pela rúcula afetados por doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.12, n.1, p.25-29,1994.
- TRANI, P.E.; FORNASIER, J.B.; LISBÃO, R. S. Cultura da rúcula. Boletim técnico do Instituto Agronômico. Campinas, Instituto Agronômico, n.146, 1992. 8p.
- VAN OS, E.A. Closed soilless growing systems: a sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. **Water Science Technology**, Oxford, v.39, n.1, p.105-112, 1999.
- VAN RENSBURG, L.; KRÜGER, G. H. J.; KRÜGER, H. Proline accumulation as drought tolerance selection criterion: Its relationship to membrane integrity and chloroplast ultrastructure in *Nicotiana tabacum*. **Journal of Plant Physiology**, v.141, p. 188-194, 1993.
- VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Proline accumulation in plants: a review. **Amino Acids**, v. 35, p. 753-759, 2008.



VIANA, SBA; FERNANDES, PD; GHEYI, HR; SOARES, FAL; CARNEIRO, PT. Índices morfofisiológicos e de produção de alface sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.23-30. 2004.

VIÉGAS, R. A. *et al.* Effects of NaCl-salinity on growth and inorganic solute accumulation in Young cashew plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 05, n. 02, p. 216-222, 2001.

VOLKMAR, K.M., HU, Y., AND STEPPUHN, H. Physiological responses of plants to salinity: a review. **Can. J. Plant Sci.** 78, p.19-27, 1998.

WHITE, P. J, BROADLEY, M. R. Chloride in Soils and its Uptake and Movement within the Plant: A Review. **Annals of Botany**; v.88 p.967-88. 2001

WILLADINO L. G.; CAMARA T. R. Aspectos fisiológicos do estresse salino em plantas. In: Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. MXM Gráfica e Editora. Recife-PE. 2005

WILLADINO L. G.; CAMARA T. R. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: La Ecofisiologia Vegetal: Una Ciencia de Sintesis. Thomson Editores Spain. Madrid, 1ed. 2004.

WILLADINO L.; GOMES E. W. F.; E SILVA E. F. F.; MARTINS L. S. S.; CAMARA T. R. Efeito do estresse salino em genótipos tetraplóides de bananeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15 n.1 Campina Grande, 2011.

YANCEY, P. H., CLARK, M. E., HAND, S. C., BOWLUS, R. D., AND SOMERO G. N., Living with water stress: evolution of osmolyte systems. **Science**, v.217, p. 1214-1222. 1982.

ZHU, J.K. Plant salt tolerance. **Trends in plant science**, v.6, n.2, p.66-71, 2001.

ZHU, J.K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v.53: p.247–273. 2002.