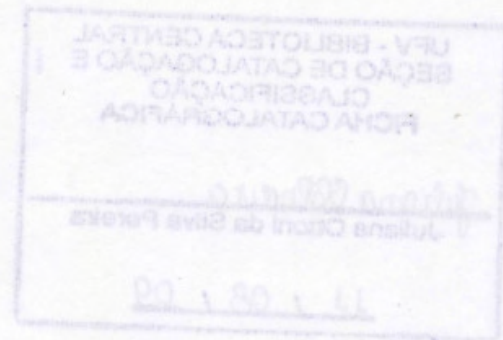


CICERO CARTAXO DE LUCENA

**CRESCIMENTO VEGETATIVO, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E TROCAS  
GASOSAS EM MANGUEIRAS SUBMETIDAS A ESTRESSE SALINO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Fitotecnia, para obtenção do título  
de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009



Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

L935c  
2009

Lucena, Cicero Cartaxo de, 1981-

Crescimento vegetativo, absorção de nutrientes e trocas gasosas em mangueiras submetidas a estresse salino / Cicero Cartaxo de Lucena. – Viçosa, MG, 2009.  
x, 116f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Dalmo Lopes de Siqueira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 91-111.

1. Manga - Efeito do sal. 2. Fotossíntese. 3. Fluorescência. 4. *Mangifera indica*. 5. Nutrição mineral.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 634.44

CICERO CARTAXO DE LUCENA

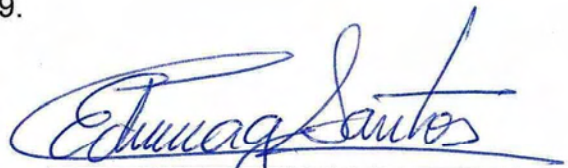
CRESCIMENTO VEGETATIVO, ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E TROCAS  
GASOSAS EM MANGUEIRAS SUBMETIDAS A ESTRESSE SALINO

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Fitotecnia, para obtenção do título  
de *Magister Scientiae*.

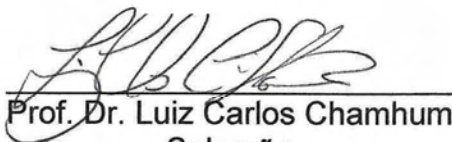
APROVADA EM: 17 de fevereiro de 2009.



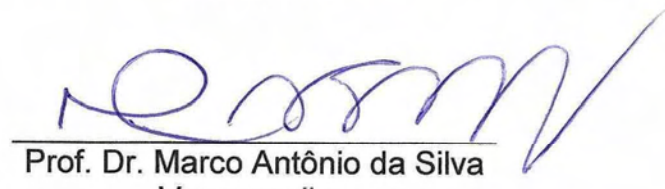
Prof. Dr. Paulo Roberto Cecon  
(Co-Orientador)



Prof. Dr. Carlos Eduardo Magalhães  
dos Santos



Prof. Dr. Luiz Carlos Chamhum  
Salomão



Prof. Dr. Marco Antônio da Silva  
Vasconcelos



Prof. Dr. Dalmo Lopes de Siqueira  
(Orientador)

## **Dedico**

*Aos meus pais Maria Das Neves e Antônio Cartaxo.*

*Aos meus irmãos Raquel, Odinete, Odete, Valter,  
Tiago, Francisco e Natanael.*

*À Dalva, pessoa especial em minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por tudo que tenho recebido.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do Curso.

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

Ao professor Dalmo Lopes de Siqueira, pela orientação, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos professores conselheiros, Hermínia Emília Prieto Martinez e Paulo Roberto Cecon, pela atenção e pelas valiosas sugestões indispensáveis ao aprimoramento deste trabalho.

Aos professores Marco Antônio da Silva Vasconcellos, Luiz Carlos Chamhum Salomão e Carlos Eduardo Magalhães dos Santos, pelas valiosas sugestões que contribuíram para o aperfeiçoamento deste trabalho.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, e em especial, aos professores Marco Vasconcellos, Rubens Busquet e Regina Coneglian, pelas importantes contribuições na minha formação.

Aos amigos e colegas da Fruticultura-UFV, Aline Rocha, Danieele Fabíola, Luana, Emanuel, Cassiano, Dierlei, Pedro Matarazzo, Thiago, Daniel, Isabel, Carlos Eduardo, José Osmar, Leonardo, Moisés, Lorena, Telma, Marcos, Ricardo, Márcio e Robson, pelo convívio agradável e amizade.

A todos os amigos de graduação, em especial, Andrea, Aldir, Fernanda Delgado, Carlinhos, Vítor, Marcelo, Maciel, Hernandez, Janailton, Rafael, Thiago Claudino, Roberto Gabriel, Fernando (Sô), Diogo, Ícaro, Thiago Vargas e Lara, pela agradável convivência e pelos momentos de descontração.

Aos funcionários do Setor de Fruticultura da UFV e aos técnicos Domingos e Itamar, do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, pela amizade e pelo empenho na realização deste trabalho.

Às secretárias da pós-graduação, Mara e Tatiani, pela presteza e dedicação.

À Dalva, pessoa especial em minha vida, pelo apoio e carinho.

Agradecimento especial a minha família pelo apoio constante em minha vida. O Meu muito obrigado!

## **BIOGRAFIA**

CICERO CARTAXO DE LUCENA, filho de Antonio Cartaxo de Lucena e Maria Das Neves de Lucena, nasceu na cidade de Mauriti, Ceará, em 20 de julho de 1981.

Em maio de 2002, ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, graduando-se em Agronomia, em fevereiro de 2007.

Em março de 2007, iniciou o Curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, submetendo-se à defesa de dissertação em 17 de fevereiro de 2009.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	03
2.1 - Importância do portaenxerto na cultura da mangueira.....	03
2.2 - Estresse salino.....	04
2.3 - Crescimento e desenvolvimento de plantas sob estresse salino.....	05
2.4 - Estresse salino, absorção de nutrientes e equilíbrio iônico.....	07
2.5 - Trocas gasosas em plantas sob estresse salino.....	10
2.6 - Estresse salino e fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	13
2.7 - Estresse salino e a cultura da mangueira.....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
<b>3.1 – Instalação e Condução do Experimento</b> .....	17
<b>3.2 – Características Avaliadas no Experimento</b> .....	20
3.2.1 – Crescimento Vegetativo.....	20
3.2.2 – Teor e distribuição de nutrientes.....	20
3.2.3 – Características Fisiológicas.....	21
3.2.3.1 – Temperatura ambiental menos Temperatura foliar .....	21
3.2.3.2 – Trocas gasosas.....	21
3.2.3.3 – Potencial hídrico foliar.....	22
3.2.3.4 – Fluorescência da clorofila ‘a’.....	22
<b>3.3 – Análises Estatísticas</b> .....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
<b>4.1 – Crescimento Vegetativo</b> .....	25
4.1.1 – Área média da folha.....	25
4.1.2 – Índice de abscisão foliar.....	26
4.1.3 – Número de folhas emitidas.....	28
4.1.4 – Índice de Fitotoxidez.....	29
4.1.5 – Área foliar total.....	33
4.1.6 – Comprimento do caule.....	35
4.1.7 – Diâmetro do caule.....	36
4.1.8 – Altura de planta.....	38
<b>4.2 – Massa seca</b> .....	39
4.2.1 – Massa seca de raiz.....	39

4.2.2 – Massa seca de caule do portaenxerto.....	41
4.2.3 – Massa seca de caule do cultivar copa.....	42
4.2.4 – Massa seca de folha.....	43
4.2.5 – Massa seca total.....	44
<b>4.3 – Teores de Nutrientes.....</b>	<b>47</b>
4.3.1 – Nitrogênio total.....	47
4.3.2 – Fósforo.....	49
4.3.3 – Potássio.....	52
4.3.4 – Cálcio.....	55
4.3.5 – Magnésio.....	57
4.3.6 – Teor de Sódio.....	59
4.3.7 – Relação Sódio/Potássio ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ).....	62
4.3.8 – Teor de Cloreto.....	65
<b>4.4 – Características Fisiológicas.....</b>	<b>67</b>
<b>4.4.1 – Temperatura foliar.....</b>	<b>67</b>
4.4.1.1 – Temperatura (ambiente – foliar) ( $T_{\text{amb}} - T_{\text{foliar}}$ ).....	67
<b>4.4.2 – Trocas gasosas.....</b>	<b>69</b>
4.4.2.1 – Concentração interna de $\text{CO}_2$ ( $C_i$ ).....	69
4.4.2.2 – Condutância estomática (gs).....	70
4.4.2.3 – Taxa transpiratória (E).....	72
4.4.2.4 – Fotossíntese líquida (A).....	73
<b>4.4.3 – Potencial hídrico foliar.....</b>	<b>75</b>
<b>4.4.4 – Fluorescência da Clorofila a.....</b>	<b>76</b>
4.4.4.1 – Fluorescência da Chl 'a' Estado Adap. Escuro (EAE).....	76
4.4.4.1.1 – Fluorescência inicial ( $F_o$ ).....	76
4.4.4.1.2 – Fluorescência máxima ( $F_m$ ).....	78
4.4.4.1.3 – Fluorescência variável ( $F_v$ ).....	80
4.4.4.1.4 – Relação $F_o/F_m$ .....	81
4.4.4.1.5 – Rendimento Quântico Potencial ( $F_v/F_m$ ).....	83
4.4.4.2 – Fluorescência da Chl 'a' Estado Adap. a Luz (EAL).....	84
4.4.4.2.1 – Rendimento Quântico Efetivo do PSII ( $F_v'/F_m'$ ).....	84
4.4.4.2.2 – Eficiência do Fotossistema II ( $\Phi$ PSII).....	85
4.4.4.2.3 – Dissipação Térmica de Energia (D).....	87
4.4.4.2.4 – Taxa de Transporte de Elétrons (ETR).....	88
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>90</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>91</b>
<b>7. APÊNDICES.....</b>	<b>112</b>



## RESUMO

LUCENA, Cicero Cartaxo, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2009. **Crescimento vegetativo, absorção de nutrientes e trocas gasosas em mangueiras submetidas a estresse salino.** Orientador: Dalmo Lopes de Siqueira. Co-Orientadores: Herminia Emilia Prieto Martinez e Paulo Roberto Cecon.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a tolerância ao estresse salino por meio da caracterização da influência da salinidade sobre o crescimento vegetativo, o teor e distribuição de nutrientes, as trocas gasosas e a eficiência fotoquímica do fotossistema II de quatro cultivares comerciais de mangueira enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú'. O experimento foi conduzido em arranjo fatorial (4 x 4) no delineamento em blocos ao acaso, sendo 4 concentrações de sal (0; 15; 30; e 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) e 4 cultivares de mangueira ('Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins', e 'Ubá', todos enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú') com 5 repetições e 1 planta por unidade experimental. As mudas estavam com aproximadamente 18 meses de idade e foram transferidas de sacolas plásticas contendo substrato (3:1 terra-areia) para vasos com 7dm<sup>3</sup> de solução nutritiva de Hoagland modificada. Após 30 dias de aclimação ao sistema hidropônico, as concentrações salinas foram adicionadas a solução nutritiva. As mudas foram submetidas a estresse salino por um período de 100 dias. A solução foi trocada sempre que a condutividade elétrica do tratamento controle reduzia 20% do valor inicial. Aos 15, 25, 45, 60, 75 e 95 dias após exposição ao estresse salino (DAEES), foram avaliadas comprimento do caule, diâmetro do caule, altura da planta e emissão foliar, todos crescidos após a exposição ao estresse salino, a diferença de temperatura (ambiente – foliar) °C, concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci), condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E), fotossíntese líquida (A), potencial hídrico foliar (MPa) e parâmetros da fluorescência da clorofila a (F<sub>0</sub>, F<sub>m</sub>, F<sub>v</sub>, F<sub>0</sub>/F<sub>m</sub>, F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>, F<sub>v</sub>'/F<sub>m</sub>', Φ PSII = [(F<sub>m</sub>'-F<sub>s</sub>)/(F<sub>m</sub>')], D = (1- F<sub>v</sub>'/F<sub>m</sub>') e ETR = (Φ PSII x FFF x 0,42). Ao final do experimento, aos 100 DAEES, as plantas foram coletadas e separadas em raízes, caule e folhas. O caule foi subdividido em

duas partes: caule do portaenxerto e caule do cultivar copa. Em seguida foram determinados a área média da folha ( $\text{cm}^2$ ), área foliar total da planta ( $\text{cm}^2$ ), o índice de toxidez nas folhas (%) e o índice de abscisão foliar (%). A massa seca de raiz, caule do portaenxerto, caule do cultivar copa, folha e total foram determinadas após secagem em estufa. Em seguida foram determinados os teores de N-total, P, K, Ca, Mg, Na e Cl na raiz, caule do portaenxerto, caule cultivar copa e folhas. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão ao nível de 5% de probabilidade. Os cultivares de mangueira analisados apresentaram decréscimos do comprimento e diâmetro do caule, da altura de planta, da emissão foliar, da área foliar média e área foliar total da planta. Em todos os cultivares, em grau diferenciados, ocorreu decréscimo nas trocas gasosas, no potencial hídrico foliar e na eficiência fotoquímica do fotossistema II, que se intensificaram nas concentrações maiores que  $15 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ . Os cultivares apresentaram decréscimos de massa seca de raízes, caule, folha e total quando submetidos a concentrações maiores que  $15 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ . Foram observados incrementos nos índices de toxidez foliar e abscisão foliar, embora não sendo observados sintomas visíveis de toxidez foliar em  $15 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ . A absorção de nutrientes foi reduzida, sendo observadas reduções nos teores de elementos essenciais, principalmente nas raízes e nas folhas. Os maiores teores dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , ocorreram na parte do caule próximo a copa das plantas e principalmente nas folhas à medida que as concentrações de NaCl foram aumentadas. No entanto, a distribuição dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , foram mais equitativa nos órgãos da planta (raiz, caule e folha) quando submetidas a  $15 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ . Dentre os cultivares avaliados, 'Tommy Atkins' apresentou-se mais tolerante ao estresse salino.

## ABSTRACT

LUCENA, Cicero Cartaxo, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2009. **Vegetative growth, nutrient absorption and gas exchange in mango trees submitted to salt stress.** Advisor: Dalmo Lopes de Siqueira. Co-Advisors: Herminia Emilia Prieto Martinez and Paulo Roberto Cecon.

The present work dealt with the evaluation of the tolerance to salt stress by the characterization of the influence of salinity on vegetative growth, nutrient content and distribution, gas exchanges and photochemical efficiency of the photosystem II of four commercial cultivars of mango trees grafted on the root stock 'Imbú'. The experiment was carried out in a randomized block factorial (4 x 4) design, with 4 salt concentrations (0; 15; 30; and 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) and 4 mango cultivars ('Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins', and 'Ubá', all of them grafted on the root stock 'Imbú'), with 5 replications and 1 plant per experimental unit. The shootings were about 18 months old and were transferred from plastic bags containing substrate (3:1 earth-sand) to vases containing 7dm<sup>3</sup> of modified Hoagland's nutrient solution. After 30 days of acclimatization to the hydroponic system, the salt concentrations were added to the nutrient solution. The shootings were submitted to salt stress for 100 days. The solution was changed every time the electrical conductivity of the control treatment reduced 20% of the initial value. 15, 25, 45, 60, 75 and 95 days after the exposure to salt stress (DAEES), the stem length, stem diameter, plant height and leaf emission were evaluated, all of them grown after the exposure to salt stress, difference in temperature (room – leaf) °C, internal concentration of CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>), stomatal conductance (g<sub>s</sub>), transpiratory rate (E), liquid photosynthesis (A), leaf water potential (MPa) and parameters of the chlorophyll fluorescence  $a$  ( $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v$ ,  $F_0/F_m$ ,  $F_v/F_m$ ,  $F_v'/F_m'$ ,  $\Phi$  PSII =  $[(F_m' - F_s)/(F_m')]$ ,  $D = (1 - F_v'/F_m')$  and  $ETR = (\Phi$  PSII x FFF x 0,42). At the end of the experiment, at 100 DAEES, the plants were collected and roots, stem and leaves were separated. The stem was subdivided into two parts: stem of the root stock and stem of the cultivar. Next, the average leaf area (cm<sup>2</sup>), total leaf area of the

plant ( $\text{cm}^2$ ), toxicity index in the leaves (%) and the index of leaf abscission (%) were determined. The dry mass of the root, stem of the root stock stem of the cultivar, leaf and total were determined after drying in a greenhouse. Then, the contents of N-total, P, K, Ca, Mg, Na and Cl were determined for the root, stem of the root stock, stem of the cultivar and leaves. The results achieved were submitted to the variance and regression analyses at the level of 5% of probability. The mango cultivars analyzed presented decreases in stem length and diameter, plant height, leaf emission, average leaf area and total leaf area of the plant. In all the cultivars, there was a decrease, in different degrees, in the gas exchanges, leaf water potential and photochemical efficiency of the photosystem II, which were intensified in the concentrations above  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl. The cultivars presented decreases for the dry mass of roots, stem, leaf and total when submitted to concentrations above  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl. Increments were observed in the indexes of leaf toxicity and leaf abscission, although symptoms of leaf toxicity were not observed in  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl. The nutrient absorption was reduced, and decreases were observed in the contents of essential elements, mainly in the roots and leaves. The highest contents of ions  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  were observed in the part of the stem next to the canopy of the plants and mainly in the leaves, as the NaCl concentrations increased. However, the distribution of ions  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  was more balanced in the plant organs (root, stem and leaf) when submitted to  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl. The 'Tommy Atkins' cultivar presented more tolerance to salt stress than the other cultivars evaluated.

## 1 - INTRODUÇÃO

A mangueira (*Mangifera indica* L.) é uma espécie cultivada há mais de seis milênios. Desde a sua origem na região indo-birmânica, a mangueira se expandiu para mais de 100 países dos trópicos e subtropicais, sendo favorecida pela excelência dos seus frutos e; pelo trabalho de agricultores e de pesquisadores na melhoria do cultivo (Galán Saúco, 1999).

Sob condições irrigadas, a mangueira é amplamente cultivada na região do semi-árido do Nordeste Brasileiro. No entanto, em muitos solos desta região a salinidade é elevada, principalmente nas áreas irrigadas onde a qualidade e o manejo da água são, com frequência, inadequados (Ayers & Westcot, 1991; Medeiros, 1992; Audry & Suassuna, 1995; Heck et al., 2003), o que pode afetar o seu desenvolvimento.

Alguns autores reportam que a mangueira é uma espécie sensível às condições de salinidade, ocorrendo a queimadura do ápice e das margens das folhas e, em casos mais severos, a redução do crescimento, abscisão de folhas e morte da planta (Schmutz & Lüdders, 1993; Morsy, 2003; Zuazo et al., 2003).

O estresse osmótico, resultado da concentração relativamente alta de solutos na solução do solo; o estresse iônico, resultado da alteração da relação  $K^+/Na^+$  e a alta concentração dos íons  $Na^+$  e  $Cl^-$ , a desorganização do sistema de membranas e a produção de espécies reativas de oxigênio (Neumann, 1997; Hasegawa et al., 2000; Blumwald et al., 2000) são os responsáveis pelas reduções na absorção de nutrientes e de  $CO_2$  e, conseqüentemente, pela redução do crescimento das plantas.

Apesar dos mecanismos fisiológicos pelos quais as plantas apresentam tolerância ao estresse salino serem bastante conhecidos, pesquisas com cultivares comerciais de mangueiras, com respeito a estresse salino são escassas, principalmente as conduzidas em solução nutritiva e utilizando plantas enxertadas (Whiley & Schaffer, 1997; Zuazo et al., 2006).

No entanto, Munns (1993) afirma que é possível, após semanas ou meses de exposição ao estresse salino, ocorrerem respostas celulares e fisiológicas distintas entre cultivares que permitem discriminar quais apresentam melhor tolerância a tais condições.

Desta forma, a análise de crescimento vegetativo e do teor e distribuição de nutrientes nos órgãos da planta permitem avaliar o seu desempenho em

relação às condições de cultivo ao qual está submetida. A determinação das trocas gasosas e do desempenho do fotossistema II se constituem em parâmetros fisiológicos importantes para o diagnóstico de estresse em plantas, os quais apresentam respostas ao estresse em curto espaço de tempo.

Considerando os aspectos anteriores, este trabalho teve como objetivo avaliar a tolerância das combinações dos cultivares de mangueira 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', ao estresse salino, por meio da caracterização da influência da salinidade sobre seu crescimento vegetativo, teor e distribuição de nutrientes, trocas gasosas e desempenho do fotossistema II.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 - Importância do portaenxerto na cultura da mangueira

No Brasil, não se tem pesquisas conclusivas quanto ao uso de portaenxertos para a cultura da mangueira. A escolha do portaenxerto a ser utilizado se dá, quase que exclusivamente, considerando a disponibilidade de sementes. Assim, os viveiristas coletam, ao acaso, os frutos das variedades mais comuns da região, sem considerarem características fundamentais como resistência ou tolerância às doenças e pragas, porte da planta, hábitos vegetativos e resistência à seca (Castro Neto et al., 2002).

Da mesma forma que para as características supracitadas, no Brasil não se tem pesquisas quanto às combinações copas/portaenxertos de mangueira que apresentem tolerância à salinidade. No entanto, o cultivo comercial da mangueira é concentrado quase que exclusivamente na região do semi-árido do Nordeste do Brasil, onde as condições edafoclimáticas e o manejo da irrigação, às vezes, inadequado favorece o surgimento de salinidade.

Embora até o momento não se tenha estudos caracterizando o efeito da salinidade em nível de campo, nessas regiões onde ocorre baixas precipitações e alta evapotranspiração, é possível que a salinidade possa vir a alcançar níveis prejudiciais ao desenvolvimento da cultura. Dessa forma, se faz necessário identificar combinações copas/portaenxertos com melhor grau de tolerância e os mecanismos envolvidos, auxiliando assim nas estratégias de manejo para a mangicultura na região semi-árida do nordeste brasileiro.

Em outras frutíferas, a importância da combinação enxerto/portaenxerto no crescimento e produção tem promovido numerosas investigações, como em *Anacardium occidentale* L., *Citrus*, *Vitis* e *Olea europaea* L., a fim de selecionar pomares uniformes e capazes de incrementar seus níveis de tolerância ao estresse salino (Rivero et al., 2003).

Apesar de a mangueira ser cultivada comercialmente em áreas sujeitas a condições de salinização, é escasso os trabalhos sobre os efeitos do estresse salino na cultura, sendo desta forma, de grande importância para mangicultura, a identificação de combinações copa/portaenxerto que sejam capazes de crescer e produzir economicamente em ambientes salinos.

## 2.2 - Estresse salino

Segundo Tyerman & Skerrett (1999), em ambientes salinos, o cloreto de sódio (NaCl) tem se mostrado como sendo o sal predominante, causando a maioria das injúrias nas plantas. Ainda segundo, Marschner (1995), o teor de sódio na crosta terrestre é da ordem de 2,8% (superior ao teor de potássio, que é de 2,6%).

Em relação à tolerância a salinidade, as espécies vegetais são classificadas como halófitas ou glicófitas (tolerantes ou não-tolerantes à salinidade, respectivamente), dependendo da capacidade de absorção e/ou exclusão de sódio pelas raízes, compartimentalização em nível celular (vacúolo) e de órgãos (tecidos menos sensíveis).

O grau de tolerância das espécies depende ainda da magnitude de restrição do transporte dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  para a parte aérea, da capacidade de síntese de solutos orgânicos (ajustamento osmótico), da presença de glândulas excretoras de sais, e finalmente de suas respostas de crescimento e desenvolvimento (Greenway & Munns, 1980; Munns & Tester, 2008).

Dessa forma, o estresse salino se refere ao efeito negativo que o excesso de sais presentes na solução do solo exerce sobre o crescimento e desenvolvimento dos vegetais (Plaut, 1995). Uma planta exposta a altas concentrações de sais enfrenta dois problemas: o primeiro é a absorção de água a partir de um solo com um potencial osmótico baixo e, por via de consequência, um potencial hídrico bem menor do que o da planta; e o segundo resulta do acúmulo de íons tóxicos no citoplasma, os quais inibem muitas das reações metabólicas (Hasegawa et al., 2000, Munns & Tester, 2008).

Esse desequilíbrio osmótico e iônico leva a uma redução no crescimento da planta, a uma baixa absorção de nutrientes, à inibição da fotossíntese e a danos a nível celular, tais como a desorganização do sistema de membranas, a produção de espécies reativas de oxigênio e o acúmulo de metabólitos tóxicos (Neumann, 1997; Hasegawa et al., 2000).

Entretanto, na maioria das espécies, o sintoma mais aparente é uma diminuição no crescimento. À medida que a concentração de sal no ambiente aumenta acima de um determinado nível, tanto a taxa de crescimento como o



tamanho da maioria das plantas diminuem progressivamente. Além da redução do crescimento, as plantas submetidas a estresse salino podem apresentar sintomas de injúria foliar caracterizada por queimaduras das folhas, necrose e perda de folhas devido à toxidez de íons específicos (Tyerman & Skreett, 1999).

### **2.3 - Crescimento e desenvolvimento de plantas sob estresse salino**

A salinidade reduz a habilidade da planta para absorção de água e isto rapidamente causa reduções na taxa de crescimento, com mudanças metabólicas idênticas aquelas causadas por estresse hídrico. A redução inicial no crescimento da parte aérea é provavelmente devido a sinais hormonais gerados pelas raízes. No entanto, pode ocorrer efeito específico do sal que posteriormente tem um impacto sobre o crescimento. Se quantidade excessiva de sal for absorvida pela planta, o sal irá alcançar níveis tóxicos nas folhas, causando senescência prematura e redução da área foliar fotossintética ativa da planta ao nível que não pode sustentar o crescimento (Munns, 2002).

A parte aérea é geralmente mais sensível aos distúrbios catiônicos que as raízes, e as diferenças são grandes entre as espécies de plantas na habilidade para prevenir ou tolerar elevadas concentrações de  $\text{Na}^+$  nas folhas (Munns, 1993). O decréscimo do crescimento foliar é uma das respostas iniciais das plantas ao estresse salino (Munns & Termaat, 1986; Munns, 2002). Os sintomas de toxidez provocados pelo acúmulo excessivo dos íons tóxicos,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , se manifestam como clorose marginal e surgimento de zonas necróticas (Maas & Grattan, 1996) que contribuem para a aceleração dos processos de senescência e abscisão foliar (Munns, 1993).

Apesar de o decréscimo na taxa de crescimento ser maior na parte aérea quando comparado ao sistema radicular, as plantas alteram consideravelmente sua capacidade para absorver água e nutrientes essenciais a partir da solução do solo (Neumann, 1997; Munns, 2002).

Muitas controvérsias têm sido levantadas em relação aos mecanismos fisiológicos primários responsáveis pela redução do crescimento das plantas quando submetidas a estresse salino. Entretanto, segundo Munns & Tester, (2008), a inibição do crescimento caracteriza-se por ser uma resposta bifásica.

Na primeira fase, que se manifesta em uma escala de tempo de horas ou dias, a redução no crescimento vegetal resulta do efeito osmótico dos sais presentes no solo (estresse hídrico). A segunda fase inicia-se após semanas ou meses de exposição ao estresse salino, quando os sais absorvidos começam a acumular-se nos diferentes tecidos da planta, provocando desequilíbrio nutricional e toxicidade iônica sobre os diferentes processos fisiológicos.

De acordo com Zhu (2003), a redução na turgescência celular provocada pelo estresse salino, é uma causa importante para explicar a diminuição no crescimento das plantas, pois tem influência direta nos processos de expansão e divisão celular.

A tolerância ou a sensibilidade aos sais também varia com o estágio de desenvolvimento do vegetal no qual o estresse salino é aplicado. Segundo Shannon *et al.* (1994), as plantas lenhosas usualmente mostram maior tolerância aos sais durante a fase de germinação do que durante a de estabelecimento da plântula, quando a sensibilidade aos sais aumenta. Além disso, essas plantas tornam-se progressivamente mais tolerantes à medida que vão atingindo o estágio adulto até a etapa reprodutiva, embora a salinidade possa ter um efeito negativo durante a floração.

Plantas tolerantes à salinidade são capazes de manter seu crescimento e completar seu ciclo de vida em ambientes salinos (Parida & Das, 2005). Para isso, as plantas utilizam mecanismos de homeostase hídrica (ajustamento osmótico) ou iônica (exclusão e compartimentalização de íons), os quais minoram ou evitam os efeitos deletérios do estresse, permitindo assim, a sobrevivência em ambientes salinizados (Bray *et al.*, 2000; Yokoi *et al.*, 2002; Munns & Tester, 2008). De acordo com Zhu (2001), as plantas devem desenvolver mecanismos para prevenir e remediar o dano provocado pelo excesso de sais, restabelecendo as condições homeostáticas para se adaptarem ao novo ambiente, retomando o crescimento, ainda que a taxas reduzidas.

Tem sido proposto ainda que o uso de parâmetros fisiológicos e bioquímicos que agem a nível celular e da planta inteira, tais como a fotossíntese, as trocas gasosas, a regulação da concentração de íons e o estado hídrico da planta seja empregado nos programas de seleção de

cultivares tolerantes à salinidade (Asharaf & Harris, 2004 Munns & Tester, 2008).

Cheeseman (1988) sugere que a quantidade de íons que atinge as folhas deve ser limitada para não ultrapassar a capacidade de compartimentalização dos mesmos no vacúolo. O mecanismo que possibilita às plantas tolerar altos níveis de salinidade envolve um controle mais eficiente no transporte de íons tóxicos para os órgãos aéreos transpirantes, acumulando-os nas raízes (Munns, 2002). O grau de acúmulo de sais nas raízes é função dos processos de exclusão, compartimentalização, velocidade de carregamento e reabsorção de sais no xilema, e depende da seletividade na absorção de íons nas células das raízes (Munns & Tester, 2008).

Estudos recentes, no entanto, questionam a contribuição desse mecanismo para conferir tolerância à salinidade em plantas perenes. Garcia-Sanchez et al. (2002), Chartzoulakis et al. (2002) e Munns & Tester, 2008 concordam que a compartimentalização de sais nas raízes pode prevenir os efeitos do estresse salino apenas a níveis baixos de salinidade ou a exposição de curto tempo aos sais, no caso de culturas perenes.

Em muitas árvores frutíferas, a influência negativa dos sais deve-se, principalmente, ao acúmulo do íon cloreto nas folhas. Portanto, genótipos com tolerância à salinidade deveriam controlar o transporte desse íon para as folhas, acumulando-os nas raízes (Paranychianakis & Chartzoulakis, 2005). Tester & Davenport (2003), Munns & Tester (2008) indicaram que esse mecanismo é controlado pelas células do parênquima do xilema radicular.

#### **2.4 - Estresse salino, absorção de nutrientes e equilíbrio iônico**

Em condições fisiológicas normais, as células vegetais mantêm uma alta relação  $K^+/Na^+$  no citosol, sendo as concentrações de  $K^+$  e  $Na^+$  da ordem de 100-200 mM e 1-10 mM, respectivamente (Binzel et al., 1988; Serrano et al., 1999; Hasegawa et al., 2000). A concentração de cloreto está em torno de 10-20 mM (Tyermann & Skerrett, 1999).

A regulação desse equilíbrio iônico depende do transporte desses íons através das membranas celulares, sendo importante para a manutenção dos processos metabólicos que controlam o crescimento e o desenvolvimento da

planta. Quando as células vegetais são expostas à salinidade, a cinética do transporte e a concentração dos íons nas células são alteradas (Binzel et al., 1988).

O desequilíbrio iônico induzido pelo excesso de  $\text{Na}^+$  têm sido atribuído a sua interferência na absorção de outros cátions, especificamente a dos íons  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  (Rains & Epstein, 1967; Watad et al., 1991). Os transportadores que controlam a absorção de  $\text{K}^+$  podem transportar os íons  $\text{Na}^+$  (Epstein et al., 1963), sugerindo que os sistemas para a absorção de ambos os cátions são similares (Niu et al., 1995).

Como consequência do acúmulo de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  no ambiente radicular, a absorção de nutrientes essenciais como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{NO}_3^-$  é reduzida, provocando desequilíbrio nutricional (Blumwald, et al. 2000; Paranychianakis & Chartzoulakis, 2005). Quando a concentração de  $\text{Na}^+$  eleva-se no citosol, a deficiência dos íons  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  afeta a permeabilidade e a estabilidade da membrana plasmática (Rains & Epstein, 1967; Cramer et al., 1985).

Em ambientes salinos, o influxo passivo do sódio segue o gradiente de concentração e é favorecido pelo potencial negativo de membrana (Niu et al., 1995; Zhu, 2003; Munns & Tester, 2008). Porém, diferentes vias têm sido propostas como responsáveis pela absorção de  $\text{Na}^+$ . Rubio et al. (1995) demonstraram que os transportadores de  $\text{K}^+$  de alta afinidade (HKT, *high-affinity K<sup>+</sup> transporter*) podem funcionar como transportadores do tipo simporte  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ .

Blumwald et al. (2000) propuseram que os transportadores de  $\text{K}^+$  de baixa afinidade (*low-affinity K<sup>+</sup> transporter*), tais como o AKT1 (*Arabidopsis K<sup>+</sup> transporter 1*), operam quando as concentrações de  $\text{Na}^+$  no meio externo são relativamente altas. AKT1 funciona como um canal retificador de ingresso de  $\text{K}^+$ , ativando seu influxo quando a membrana plasmática está em um estado despolarizado e exibindo uma seletividade  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  alta em concentrações fisiológicas de ambos os íons. Outras vias de absorção têm sido sugeridas, estando controladas por canais catiônicos retificadores de saída (Schachtman et al. 1991) e por canais catiônicos não seletivos (Amtmann & Sanders, 1999).

Em condições normais de crescimento, um potencial de membrana negativo é uma barreira termodinâmica para a absorção de cloreto (Niu et al., 1995; Moya et al., 1999). Em consequência, sua absorção pode depender de

um processo de transporte ativo controlado por um simporte  $\text{Cl}^-/\text{H}^+$  ou por um transporte passivo através de canais permeáveis ao nitrato (Skerrett & Tiermann, 1994).

Não há evidências de que haja adaptação de enzimas à presença de elevadas concentrações salinas. Estudos *in vitro* mostram que  $\text{Na}^+$  inibe a maioria das enzimas nas concentrações de aproximadamente 100 mM, embora algumas enzimas são sensíveis em concentrações menores (Greenway & Osmond, 1972; Flowers et al, 1977 Flowers & Dalmond, 1992; Munns & Tester, 2008). Portanto, os mecanismos de tolerância à salinidade devem envolver a manutenção de baixos níveis de sais no citosol. A remoção do  $\text{Na}^+$  do citosol para fora da célula ou sua compartimentalização no vacúolo é realizada pela atividade de transportadores tipo antiporte  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ , nomeados SOS1 (Salt Overly Sensitive 1) e AtNHX1 (*Arabidopsis thaliana*  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  exchanger 1), presentes nas membranas plasmática e vacuolar, respectivamente (Apse et al., 1999; Hasegawa et al., 2000).

A atividade desses transportadores depende do gradiente de  $\text{H}^+$  gerado pela  $\text{H}^+$ -ATPase de membrana plasmática ou pela  $\text{H}^+$ -ATPase e pirofosfatase vacuolares (Blumwald et al., 2000). Gaxiola et al. (2001) demonstraram, através de experimentos realizados com *Arabidopsis thaliana*, que a superexpressão do gene *AVP1* (*vacuolar-type H<sup>+</sup>-pumping pyrophosphatase 1*), que codifica para a pirofosfatase vacuolar, confere às plantas maior capacidade de acúmulo de solutos inorgânicos e, conseqüentemente, maior tolerância às condições de seca e de estresse salino.

A ativação do antiporte  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  da membrana plasmática, SOS1, é controlada pela atividade das proteínas SOS2 e SOS3 que, em conjunto, constituem uma via de sinalização chamada SOS (*salt overly sensitive*). Esta via de sinalização regula a expressão e a atividade de vários transportadores para manter a homeostase do  $\text{Na}^+$ , em condições de estresse salino. SOS3 foi identificada como uma proteína ligante de cálcio que está ancorada na membrana plasmática através de uma molécula de ácido mirístico (Ishitani et al., 2000) e SOS2 é uma cinase que fosforila resíduos de serina e treonina. Durante o estresse salino, o aumento do cálcio citosólico é percebido pela SOS3, a qual interage e ativa a SOS2 que, por sua vez, ativa vários transportadores que controlam o transporte de íons tais como o SOS1.

A compartimentalização vacuolar de cloreto também é uma adaptação essencial para a tolerância ao estresse salino (Niu et al., 1995). Esse processo pode ser controlado através de transportadores dirigidos pelo fluxo eletroforético gerado pelas bombas de prótons através da membrana vacuolar (Niu et al., 1995; Sze & Palmgrem, 1999). O cloreto pode ser compartimentalizado no vacúolo através de seu co-transporte com o íon  $H^+$ , já que a principal força termodinâmica é o gradiente de pH. Um sistema anti-porte  $H^+$ /ânion também foi proposto para o transporte, que operaria na compartimentalização do  $Cl^-$  no vacúolo (Hasegawa et al., 2000).

Alvarez-Pizarro et al. (2009) sugerem que a habilidade de seedlings dos clones CCP06 e BRS 189 de caju-anão precoce na adaptação ao estresse salino, em última parte, é dependente de manutenção da integridade e proteção contra danos oxidativos da membrana plasmática, que pode favorecer a ativação da  $H^+$ -ATPase de membrana plasmática, como um mecanismo para regular a exclusão de íons  $Na^+$  para a parte aérea da planta.

## **2.5 - Trocas gasosas em plantas sob estresse salino**

Em muitas áreas do mundo, as plantas são, com frequência, sujeitas a alta salinidade do solo. O conhecimento de como as plantas responde ao estresse salino pode ter papel importante no estabelecimento de culturas sob condições salinas. A fotossíntese junto com o crescimento celular está entre os processos primários a ser afetado pelo estresse salino (Chaves et al., 2009).

Os efeitos do estresse salino sobre a fotossíntese são diretos (como a limitação da difusão de  $CO_2$  através do estômato e do mesofilo e as alterações no metabolismo fotossintético), ou indiretos, tais como, estresse oxidativo devido à superimposição de múltiplos estresses, como por exemplo, o estresse hídrico (Chaves et al., 2009).

O balanço de carbono da planta durante o período de estresse salino pode depender muito da velocidade e grau da recuperação da fotossíntese. O conhecimento atual sobre limitações fisiológicas para recuperação da fotossíntese após diferentes intensidades de estresse salino é até então escassa. Mas, da grande quantidade de dados disponíveis em estudos de plantas sujeitas a salinidade, torna-se aparente que as plantas percebem e

respondem ao estresse salino por uma rápida alteração na expressão gênica em paralelo com alterações fisiológicas e bioquímicas. Estas alterações ocorrem até mesmo sob moderadas concentrações salinas (Chaves et al., 2009).

Na prática, a redução nas taxas de fotossíntese e na transpiração (Robinson et al. 1997), tem sido atribuída aos decréscimos na condutância estomática (Brugnoli & Lauteri, 1991) e no conteúdo total de clorofila e carotenóides (Greenway & Munns, 1980; Parida & Das, 2005), bem como ao acúmulo nos cloroplastos dos íons  $\text{Na}^+$  e/ou  $\text{Cl}^-$ , que afetam desfavoravelmente os processos bioquímicos e fotoquímicos envolvidos na fotossíntese (Plaut, 1995, Munns & Tester, 2008).

O fechamento estomático, sob condições de salinidade, desempenha um papel adaptativo porque controla o transporte de íons tóxicos até os tecidos fotossintetizantes, evitando, ao mesmo tempo, a perda de água por transpiração (Neumann, 1997; Robinson et al, 1997; Chaves et al., 2009). No entanto, Hasegawa et al. (2000) apontaram que, pela necessidade da planta fixar o  $\text{CO}_2$ , essa seria uma estratégia insustentável a longo prazo.

Na maioria das halófitas e glicófitas, o controle do fechamento estomático é alterado pela inabilidade das células-guarda em excluir, principalmente, os íons  $\text{Na}^+$ , provocando distúrbios nas relações hídricas da planta (Plaut, 1995; Robinson et al., 1997).

Substratos salinos reduzem a disponibilidade hídrica, e conseqüentemente a absorção de água. Dessa forma, reduz também a pressão radicular que é a força motora do transporte de água e solutos, através do xilema (Munns, 2002). Esse déficit hídrico induzido pela salinidade pode diminuir a atividade fotossintética a partir da redução na abertura estomática e por efeitos em níveis de reações associadas aos cloroplastos (Chaves et al., 2009).

O fechamento estomático associado com tensão hídrica restringe a assimilação do carbono e conseqüentemente a captação de energia luminosa pode ocorrer em excesso daquela requerida para fixação de carbono, podendo resultar em danos ao aparelho fotossintético, limitando o processo da fotossíntese como um todo e, conseqüentemente, a produtividade (Oliveira, 1995). O aumento da fotorrespiração (Cornic & Briantais, 1991) e a maior

oxidação a partir da rota das pentoses monofosfatadas (Scheuermann et al., 1991) têm sido relatados como possíveis mecanismos de dissipação do excesso de energia fotoquímica em plantas sob tensão hídrica. Ambos os mecanismos podem gerar CO<sub>2</sub> e prover o ciclo, que deve consumir o excesso de energia e manter altas taxas de transporte de elétrons, protegendo o fotossistema de danos (Oliveira, 1995).

De acordo com Dionisio-Sese & Tobita (2000), o fechamento estomático pode reduzir a concentração interna CO<sub>2</sub> e a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>. No entanto, uma correlação positiva entre condutância estomática e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> sugere que a condutância estomática é um fator primário na limitação da fotossíntese em plantas sob estresse salino. Já Everard et al. (1994) sugere que os fatores estomáticos são geralmente mais significante em salinidade médias e limitações de fatores não-estomáticos são mais relevantes em altos níveis salinos. Efeitos diretos da salinidade sobre a fixação de CO<sub>2</sub> pode refletir vários impactos, dois dos quais pode ser substancialmente observados: (i) uma reduzida concentração de clorofila das folhas de plantas cultivadas em concentração de NaCl maior que 100 mM e, (ii) decréscimos de íons essenciais tais como Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> nas células do mesofilo (Netondo et al., 2004).

Bongi & Loreto (1989) correlacionando a capacidade do mesofilo foliar e a condutância a fase difusiva líquida de água em oliva (*Olea europea* L.) submetida a estresse salino combinado com déficit hídrico, observaram que apesar da condutância estomática ter sido menor em déficit hídrico, a limitação predominante da fotossíntese foi devido a capacidade do mesofilo de fixar CO<sub>2</sub>. Estes autores atribuíram ainda a mudanças morfológicas e fisiológicas como responsáveis pela redução na fixação de CO<sub>2</sub>. O decréscimo na pressão parcial de CO<sub>2</sub> nos cloroplastos sob estresse salino e estresse hídrico, resultou na limitação de assimilação de CO<sub>2</sub> pela ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase e na redução da regeneração da ribulose 1,5-bisfosfato.

Schmutz & Ludders (1999), trabalhando com duas diferentes espécies de *Mangifera* (*M. indica* L. cv. '13/1' e *M. zeylanica* Hooker f.) em condições controladas de laboratório, constataram redução na assimilação de CO<sub>2</sub> e no ganho de carbono líquido e aumento da respiração radicular com o incremento e duração do estresse salino na forma de NaCl.



## 2.6 - Estresse salino e fluorescência da clorofila a

Fatores genéticos e ambientais como temperatura, salinidade, radiação, seca, fertilidade e textura do solo entre outros, afetam o crescimento das plantas e os seus efeitos têm sido pesquisados usando medições da eficiência quântica do fotossistema II (FSII) estimada através da razão entre a fluorescência variável e a máxima (Fv/Fm) (Havaux et al., 1988). Essa relação Fv/Fm expressa o rendimento quântico dos processos fotoquímicos desse fotossistema, ou seja, a eficiência relativa da captura de energia luminosa pelo FSII (Lazák, 1999; Baker, 2008).

O uso dos parâmetros de fluorescência permite avaliar o efeito de vários tipos de estresses sobre a fotossíntese, entre eles a salinidade, que reduz a taxa fotossintética e o transporte de elétrons, distúrbios diagnosticados pela luz via emissão de calor ou fluorescência (Baker, 2008). Há vários parâmetros de fluorescência *in vivo*, que podem ser aplicados para detectar danos ao aparato fotossintético.

O declínio na produtividade observado em muitas plantas submetidas à excessiva salinidade é frequentemente associado com um decréscimo na sua capacidade fotossintética (Lu & Vonshak, 1999). Glynn et al. (2003) usaram fluorescência das clorofilas como uma ferramenta para diagnosticar a identificação de plantas tolerantes ao sal.

O efeito iônico da salinidade é responsável pelo influxo de íons de Na<sup>+</sup> pelos canais de K<sup>+</sup> e pelo efluxo de água pelos canais aquíferos, ambos localizados na membrana plasmática. Esses eventos podem aumentar a concentração intracelular de íons de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e possivelmente Cl<sup>-</sup>, levando à inativação irreversível dos PS I e PS II. Tal inativação também pode ocorrer no transporte de elétrons na cadeia respiratória (Allakhverdiev et al., 2000). Os trabalhos realizados por Allakhverdiev et al. (2000a) e Allakhverdiev et al. (2000b) comprovam os efeitos osmótico e iônico do NaCl, podendo a atividade dos PS I e PS II ser influenciada tanto pelo efeito osmótico quanto pelo iônico.

Dessa forma a atividade dos PS I e PS II em plantas submetidas a estresse salino pode ser avaliada pelas mudanças na fluorescência vermelha emitida *in vivo* pela clorofila a presente nos tecidos verdes da planta. Além dos efeitos da salinidade, outros fatores como temperatura, radiação, seca e outros

têm sido pesquisados através dessa metodologia (Havaux & Lannoye, 1985; Maxwell & Johnson, 2000; Baker, 2008).

Essa metodologia baseia-se na cinética da luz absorvida pelos pigmentos antena e na energia de excitação transferida para os centros de reação dos fotossistemas I e II (Krause & Weis, 1991). Para estimar o desenvolvimento funcional do FSII (fotossistema II), utilizam-se vários parâmetros da fluorescência, como fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e a relação  $F_v/F_m$ , taxa de transporte de elétrons (ETR), dissipação térmica da energia luminosa (D), eficiência do fotossistema II, quenching não fotoquímico (NPQ) (Lichtenthaler & Rinderle, 1988; Maxwell & Johnson, 2000; Baker, 2008).

O principal fator que determina a produção de fluorescência da clorofila *a in vivo* é o estado redox do primeiro receptor estável, que é a plastoquinona A (PQA). Quando a plastoquinona A é oxidada, a separação da carga fotoquímica e a estabilização do elétron na PQA fazem com que a probabilidade de emissão de fluorescência seja baixa. Quando a plastoquinona A é reduzida, a probabilidade é elevada, por duas razões: 1) diminuição da taxa de separação das cargas primárias ( $K_1$ ) e 2) aumento da taxa de recombinação de cargas ( $K-1$ ) (Schreiber et al., 1998).

Na prática, a relação entre a fluorescência máxima ( $F_m$ , todas as plastoquinonas reduzidas) e a fluorescência mínima ( $F_o$ , todas as plastoquinonas oxidadas) é aproximadamente de 5 a 6 em folhas saudáveis e adaptadas à sombra. Porém, essa relação pode variar muito, dependendo do estado de iluminação e de vários outros fatores. Quando os processos fotoquímicos no PSII são diminuídos, uma diminuição da  $F_m$  é indicadora de aumento na formação de calor, seja nos centros de reação ou nas antenas (Schreiber et al., 1998).

Em condições ótimas para a planta, a proporção de energia radiante emitida na forma de fluorescência é reduzida. Porém, em condições estressantes, a fluorescência aumenta, assim como ocorrem também mudanças nas características relacionadas com a fluorescência, a exemplo da fluorescência inicial ( $F_o$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ) e razão entre ambas (Lichtenthaler & Rinderle, 1988; Allakhverdiev, 2000a).

A fluorescência *in vivo* da clorofila *a* também oferece um indicativo precoce de disfunção fotossintética e pode ser empregada como uma prova para localizar possíveis sítios de lesões induzidos pela salinidade dentro dos cloroplastos (Smillie & Nott, 1982).

## **2.7 - Estresse salino e a cultura da mangueira**

Vários autores reportam que a mangueira é considerada sensível às condições de salinidade ocorrendo a queimadura do ápice e das margens das folhas, enrolamento das folhas, e em casos mais severos a redução do crescimento, abscisão de folhas e morte da planta (Emblenton & Jones, 1966; Jindal et al. 1975; Kadman et al. 1976; Maas, 1986; Schmutz & Ludders, 1993; Hout et al., 1997; Morsy, 2003; Zuazo et al., 2003). No entanto, informações sobre portaenxertos de mangueiras, com respeito à tolerância a salinidade, são escassas (Maas & Grattan, 1999; Zuazo et al., 2006).

Em muitos casos, a concentração de sais não atinge níveis osmóticos ou tóxicos capazes de prejudicar a absorção de água pelas plantas, no entanto, a concentração de íons diversos pode provocar interferências indiretas e ser um obstáculo à boa absorção de elementos essenciais e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de um processo metabólico normal (Medeiros & Gheyi, 1997).

Ao longo do tempo, o acúmulo de íons tóxicos nos tecidos das plantas causa problemas no balanço nutricional de toda a planta (Kadman et al., 1976) bem como redução da área foliar e da transpiração causada pelo  $Cl^-$ , uma vez que o cloreto provoca o estresse hídrico e como consequência afetando também a absorção de  $CO_2$  (Schmutz & Ludders, 1993). Estudos verificando a habilidade de exclusão de sais entre seedlings de vários cultivares de mangueira cultivados no campo confirmaram através de análises de tecidos foliares que a toxicidade da salinidade foi limitante a produtividade da mangueira em ambiente árido (Hout et al., 1997).

O decréscimo do tamanho do caule, do número de folhas por planta e da área foliar foram observados nos cultivares de mangueiras 'Alphonso', 'Taimour', 'Ewaise' 'Hindy Bisinnara' e 'Zebda' quando submetidos a estresse salino (Morsy, 2003). Os efeitos negativos da salinidade nos cultivares

estudados foram observados a partir de concentrações de 30 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, apesar de alguns parâmetros de crescimento ter sido afetado em concentrações de 20 mmol L<sup>-1</sup> NaCl no cultivar 'Alphonso'.

Zuazo et al. (2003) estudando o comportamento da mangueira 'Osteen' enxertada nos portaenxertos 'Gômera 1' e 'Gomera 3', em relação a salinidade, observaram decréscimo da produção de frutos nas plantas submetidas a estresse salino, quando comparada às plantas controle. O efeito negativo da salinidade na produtividade foi maior em 'Gomera 3' do que em 'Gômera 1', especialmente nos dois tratamentos com maiores níveis de salinidade (2,0 e 2,5 dS.m<sup>-1</sup>). Esse resultado indica uma resposta diferenciada na tolerância desses portaenxertos às condições salinas. No entanto, estudos com respeito aos efeitos do portaenxerto sobre os cultivares de mangueira ainda é insuficiente (Singh & Singh, 1976; Zuazo et al., 2003).

Dados quantitativos sobre limites críticos de salinidade da água e do solo, os quais a mangueira seria tolerante sem reduções em sua produção e qualidade do fruto não foram encontrados na literatura para o portaenxerto e os cultivares copas objetos de pesquisa deste trabalho.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Instalação e Condução do Experimento

O experimento foi conduzido em sistema hidropônico estático aerado utilizando solução nutritiva de Hoagland modificada<sup>1</sup> (Tabela 1) em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa-MG, no período de 26 de março a 08 de agosto de 2008.



Foto 1 – Vista do experimento em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia-UFV.

Foram utilizadas mudas enxertadas sobre o portaenxerto ‘Imbú’ com aproximadamente 18 meses de idade provenientes de viveiro comercial registrado no Instituto Mineiro de Defesa Agropecuária (IMA-MG) no município de Dona Euzébia-MG. Após a chegada das mudas, em casa de vegetação do Setor de Fruticultura da UFV, elas foram previamente padronizadas quanto a sua altura e podadas imediatamente abaixo do segundo fluxo de crescimento, para estimular o crescimento vegetativo. Após a poda, foram conduzidas em haste única de crescimento. Momentos antes de serem transferidas para o sistema hidropônico, as mudas foram retiradas das sacolas plásticas e o substrato foi cuidadosamente removido com água corrente.

Em seguida foi realizado tratamento com fungicida Ridomil® a 0,25%, aplicado no sistema radicular das mudas, que foram posteriormente mantidas em período de adaptação (1/2 da força iônica durante 30 dias) ao sistema hidropônico. Após os 30 dias, a solução nutritiva foi elevada para 3/4 de força iônica e as concentrações salinas adicionadas, iniciando assim a exposição ao estresse salino por um período de 100 dias.

O ensaio foi conduzido em arranjo fatorial (4 x 4) no delineamento em blocos ao acaso, sendo 4 concentrações de sal (0; 15; 30; e 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) e 4 cultivares de mangueira ('Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins', e 'Ubá', todos enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú') com 5 repetições e 1 planta por unidade experimental.

**Tabela 1** - Composição da solução nutritiva<sup>1</sup> utilizada no cultivo hidropônico de mudas de mangueiras.

Nutrientes	Concentração*
	(mmol L <sup>-1</sup> )
N	13
P	1
K	4
S	2
Ca	5
Mg	2
	(µmol L <sup>-1</sup> )
B	25
Mn	2
Zn	2
Cu	0,5
Mo	0,5
Fe	80

<sup>1</sup>/ Adaptado de Hoagland & Arnon (1938).

\* Refere-se à força iônica total da solução.

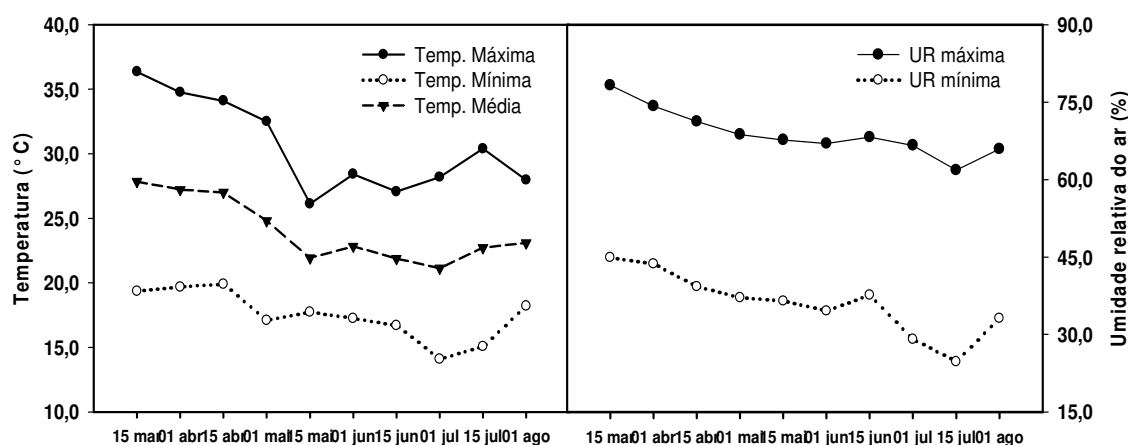
As plantas foram cultivadas em um volume de sete dm<sup>3</sup> de solução nutritiva, sendo o volume repostado ao valor inicial com água desionizada em dias alternados. O pH foi ajustado em 5,5 ± 0,2 com solução ácida (0,1 mol L<sup>-1</sup> M HNO<sub>3</sub>) e/ou solução básica (0,1 mol L<sup>-1</sup> KOH), também em dias alternados. A

condutividade elétrica (CE) da solução foi monitorada semanalmente, sendo realizada a renovação da solução sempre que observava uma depleção de 20% do valor inicial da condutividade elétrica do tratamento controle (0 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) (Tabela 2).

**Tabela 2** – Condutividade elétrica (dS.m<sup>-1</sup>) da solução nutritiva em função da adição de NaCl à solução.

Concentrações de NaCl (mmol L <sup>-1</sup> )	Condutividade Elétrica (dS.m <sup>-1</sup> )
0	1,26 ± 0,01
15	2,46 ± 0,02
30	4,04 ± 0,01
45	5,68 ± 0,03

As condições climáticas da casa de vegetação no período de condução do experimento foram registradas com um datalogger, em intervalos de 60 minutos, considerando-se as médias quinzenais para a representação gráfica dos dados, obtendo-se desta forma as médias de temperatura e de umidade relativa do ar (Figura 1).



**Figura 1** – Condições climáticas da casa de vegetação no período de condução do experimento.(01 = média da 1<sup>a</sup> quinzena do mês; 15 = média da 2<sup>a</sup> quinzena do mês).

## **3.2 – Características Avaliadas no Experimento**

### **3.2.1 – Crescimento Vegetativo**

Foram efetuadas as seguintes avaliações aos 02; 43; 60; 75; e 92 dias após exposição ao estresse salino (DAEES): diâmetro da parte do caule que se desenvolveu após a exposição das plantas ao estresse salino, obtido por medição com paquímetro digital e expressos em milímetros (mm); comprimento da parte do caule desenvolvida após a exposição ao estresse salino e a altura total das plantas, ambos obtidos por medição com régua graduada e expressos em centímetros (cm) e número de folhas emitidas após a poda (NFE) e o número de folhas remanescentes (NFR) ao final do experimento.

Ao final do experimento, aos 100 DAEES, as plantas foram coletadas e separadas em raízes, caule e folhas. O caule foi subdividido em duas partes: a parte do caule correspondente ao portaenxerto (caule do portaenxerto), ou seja, o caule abaixo do ponto de enxertia e a parte do caule correspondente ao cultivar copa (caule do cultivar copa), ou seja, o caule acima do ponto de enxertia.

Em seguida foi determinada a área foliar total (AFT) da planta (Área Meter 2000, USA) e a área individual da folha obtida pela razão AFT/NFR, ambos expressa em centímetros quadrados (cm<sup>2</sup>), o índice de abscisão foliar obtido pela razão (NFR/NFE)x100, o índice de toxidez nas folhas, utilizando todas as folhas de cada planta, obtido com auxílio de sistema de análise de imagem (Win Dias, Delta-Device, UK) e expressa em porcentagem da área clorótica e/ou necrótica em relação à área total da folha. A massa seca (g) de raiz, caule do portaenxerto, caule do cultivar copa, folha e total foram obtidas por pesagem em balança digital (precisão de 0,1 g), determinada após secagem em estufa de circulação forçada de ar por um período de 72 horas a 75°C.

### **3.2.2 – Teores e distribuição de nutrientes**

Após a determinação da massa seca, as raízes, o caule do portaenxerto, o caule do cultivar copa e as folhas foram triturados separadamente em moinho tipo Willey com peneira de 20 mesh e as amostras armazenadas em sacos de



papel. Em seguida as amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas – DFT/UFV. Foram analisados os macronutrientes nitrogênio total, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Os teores de nitrogênio total foram determinados pelo método semi-micro Kjeldahl após a digestão sulfúrica ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) do tecido vegetal (Malavolta et al., 1997). Em extrato da digestão nitroperclórica ( $\text{HNO}_3$  e  $\text{HClO}_4$ ) foram determinados: P, colorimetricamente, pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C;  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  por espectrofotometria de emissão atômica;  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  por espectrofotometria de absorção atômica e os teores de  $\text{Cl}^-$  por titulação com  $\text{AgNO}_3$  (Método de Mohr), (Malavolta et al., 1997).

### **3.2.3 – Características Fisiológicas**

#### **3.2.3.1 – Diferença entre a temperatura na superfície foliar e a temperatura ambiental.**

Foram determinadas, simultaneamente à determinação dos parâmetros de trocas gasosas, a temperatura ambiente e a temperatura na superfície da folha e expressa a sua diferença ( $T_{\text{ambiente}} - T_{\text{foliar}}$ ) em ( $^{\circ}\text{C}$ ), com auxílio do analisador de gás carbônico a infravermelho (IRGA) modelo LCpro+ Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Limited, UK). As análises foram realizadas aos 30, 45, 60, 75 e 90 dias após exposição ao estresse salino.

#### **3.2.3.2 – Trocas gasosas**

Foram determinados a concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) expressa em  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ , a condutância estomática ( $g_s$ ) expressa em  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , a taxa transpiratória ( $E$ ) expressa em  $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  e a fotossíntese líquida ( $A$ ) expressa em  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . As medições foram feitas em plantas intactas, entre os períodos de 8:00 a 12:00 horas sendo realizadas 3 leituras na primeira folha completamente desenvolvida no sentido ápice para a base para obtenção de valores médios. Os parâmetros fisiológicos foram obtidos com auxílio do analisador de gás carbônico a infravermelho (IRGA) modelo LCpro+ Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Limited, UK) com controle de temperatura a  $25^{\circ}\text{C}$ , irradiância de  $1044 \mu\text{mol}\cdot\text{fótons}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  e fluxo de ar 200

ml.min<sup>-1</sup>. As análises foram realizadas aos 30, 45, 60, 75 e 90 dias após exposição ao estresse salino.

### **3.2.3.3 – Potencial hídrico foliar**

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) expresso em MPa foi obtido indiretamente utilizando o método da câmara de pressão de Scholander (Soil Moisture Equipment Corp USA). Foi utilizada a primeira folha completamente expandida do ápice para base da haste única das mudas, coletadas nas primeiras horas do antemanhã (04:00 horas), e acondicionadas em sacos de polietileno e transportadas em seguida em isopor com gelo para realização das análises na câmara de pressão. As análises foram realizadas aos 44; 60; 91; e 101 dias após a exposição ao estresse salino. As folhas coletadas para determinar o potencial hídrico não foram utilizadas no cálculo da área foliar da planta.

### **3.2.3.4 – Fluorescência da clorofila 'a'**

As análises da fluorescência da clorofila 'a' foram realizadas aos 97 dias após a exposição ao estresse salino com auxílio de fluorômetro modulado modelo PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech Instruments Ltda., UK). As avaliações foram realizadas na primeira folha completamente desenvolvida (madura) no sentido do ápice para a base, utilizando-se uma folha por planta. A cinética de indução de fluorescência das clorofilas seguiu o modelo descrito por Roháček (2002), que consiste na manutenção das folhas no escuro por 30 minutos, seguida da determinação dos parâmetros do estado adaptado ao escuro (EAE):  $F_o$  (fluorescência inicial),  $F_m$  (fluorescência máxima),  $F_v$  (fluorescência variável),  $F_o/F_m$  e a relação  $F_v/F_m$  (rendimento quântico potencial) e dos parâmetros do estado adaptado à luz (EAL):  $F_v'/F_m'$  (rendimento quântico efetivo),  $\Phi$  PSII (eficiência do fotossistema II), dissipação térmica de energia (D) e taxa de transporte de elétrons (ETR).



Foto 2 - Medição dos parâmetros de trocas gasosas com controle de temperatura e irradiância (A), potencial hídrico foliar (B), e fluorescência da clorofila (C e D) em mangueiras submetidas a estresse salino.

### 3.3 – Análises Estatísticas

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão ao nível de 5% de probabilidade com auxílio do programa Sistemas para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG) (UFV, 1997). Na análise de regressão foi selecionado o modelo baseado no efeito significativo pelo teste F a 5% de probabilidade, no significado biológico e no coeficiente de determinação. O coeficiente de determinação foi obtido pela razão da soma de quadrados de regressão sobre a soma de quadrados de tratamentos. Para as variáveis analisadas, optou-se pelo desdobramento da interação concentração de NaCl *versus* cultivares, independentemente da interação ser ou não significativa devido ao interesse em estudo.

Nas características avaliadas em que houve mais de uma época de amostragem, os dados foram reduzidos à média, independentemente da interação ser ou não significativa devido as características avaliadas terem apresentado o mesmo comportamento padrão em todas as épocas amostradas.

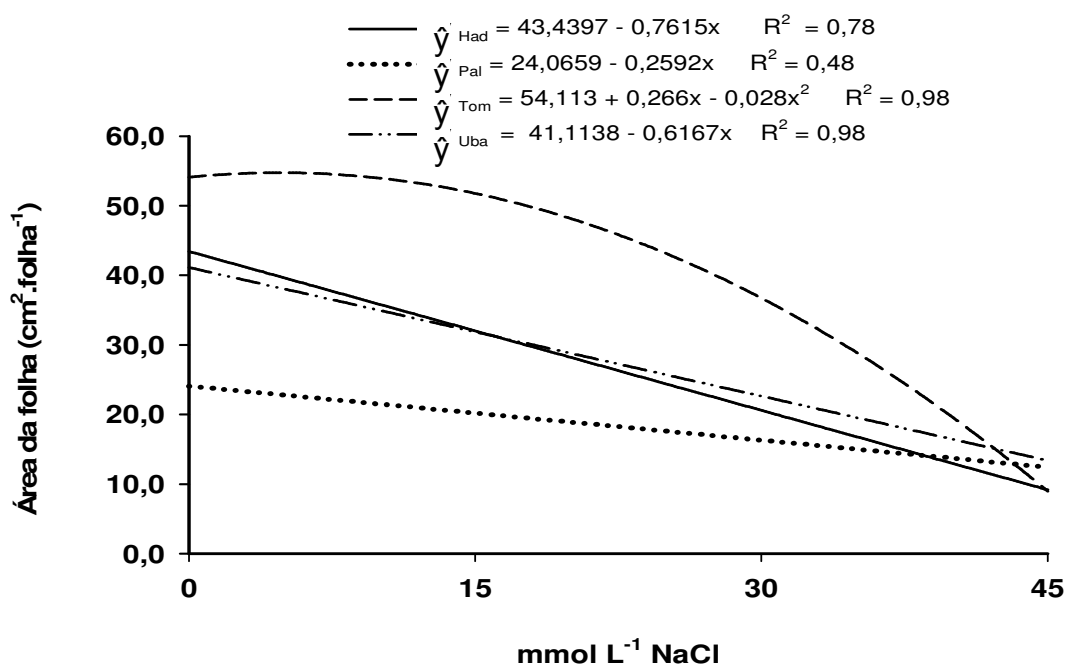
## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Crescimento Vegetativo

#### 4.1.1 – Área média das folhas

O crescimento vegetativo das plantas de todas as combinações copa-portaenxerto de mangueiras foi influenciado pelas concentrações de sais, notadamente a partir da concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. A salinidade reduziu a área média das folhas (Figura 2) e a área foliar total da planta (Figura 6).

Em plantas de todos os cultivares, exceto para ‘Tommy Atkins’, ocorreu redução linear da área média da folha em função do aumento das concentrações de NaCl (Figura 2). O cultivar ‘Tommy Atkins’ apresentou comportamento quadrático com ponto de máximo da área média da folha estimado em 54,76 cm<sup>2</sup> na concentração de 4,75 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. As estimativas de redução da área média da folha nas plantas cultivadas na menor concentração (15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) foram de 26,30; 16,16; 4,26; e 22,50% nos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’, respectivamente.



**Figura 2** – Área média das folhas (cm<sup>2</sup>.folha<sup>-1</sup>) dos cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Nas plantas cultivadas na maior concentração (45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) em relação as plantas controle (0 mmol L<sup>-1</sup> NaCl), a redução da área individual da folha foi de 78,89; 48,47; 82,63; e 67,50% nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente.

O decréscimo da área média da folha (Figura 2) provavelmente ocorreu em função da redução da atividade meristemática, e principalmente devido à redução do potencial de parede, inicialmente causado pelo estresse hídrico e osmótico, levando a ocorrência de menor turgescência celular e consequentemente uma menor expansão celular.

Com o aumento do período de exposição das plantas ao estresse, provavelmente houve um desequilíbrio iônico em função do teor excessivo de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nos tecidos (Figuras 20 e 22). Estes resultados sugerem que pode ter ocorrido limitação na capacidade de compartimentalização dos íons no vacúolo com consequente perda de integridade de membranas, seguida do surgimento de sintomas de toxidez foliar (Figura 5).

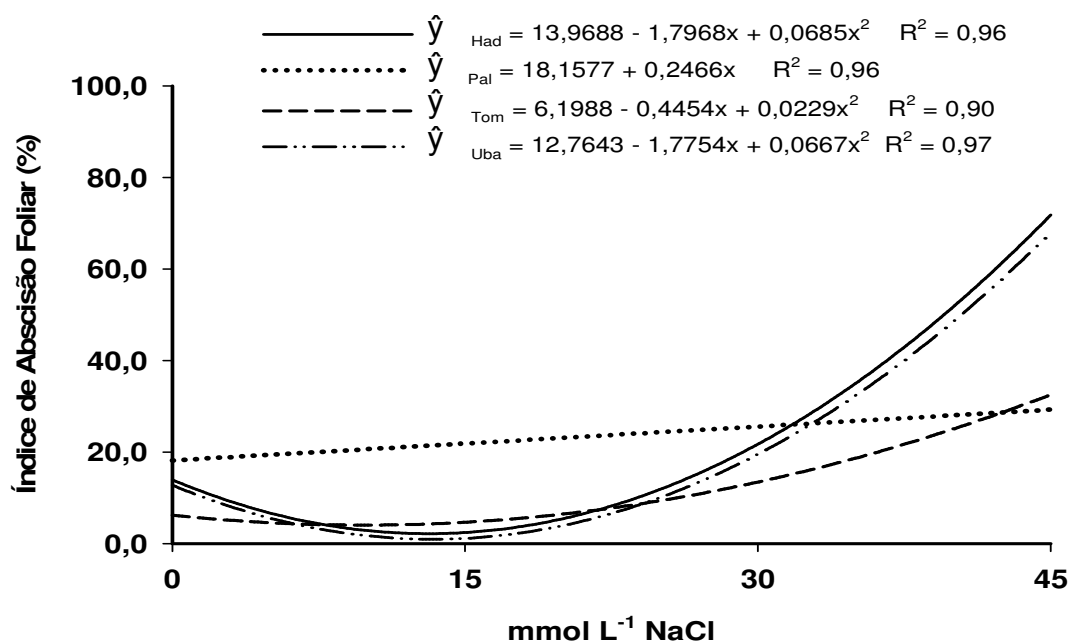


Foto 3 – Área da folha de mangaueira na ausência de NaCl (A) e submetida a 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl (B). Na presença de NaCl ocorre a redução da área foliar e espessamento das nervuras.

#### 4.1.2 – Abscisão foliar

A abscisão foliar foi incrementada a partir da concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, exceto em 'Palmer' que apresentou aumento linear. Em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl a abscisão foliar foi semelhante às plantas controle (Figura 3). Em todos os cultivares a ocorrência de abscisão foliar foi precedida por cloroses e/ou

necroses no ápice e margens das folhas que evoluíram em direção a nervura central com o aumento no período de exposição ao estresse. (Figura 3)



**Figura 3** – Abscisão foliar (%) nos cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

O cultivar ‘Tommy Atkins’ apresentou menor índice de abscisão foliar em todas as concentrações de NaCl, exceto em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, onde foi igual ao cultivar ‘Palmer’. Os cultivares ‘Haden’ e ‘Ubá’ apresentaram maiores índices de abscisão foliar a partir da concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

As estimativas do índice de abscisão foliar das plantas cultivadas em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl foram de 2,43; 21,86; 4,67; e 1,14%; quando cultivadas em 30 mmol L<sup>-1</sup> NaCl foram de 21,71; 25,56; 13,45; e 19,53%; e finalmente quando cultivadas em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl foram de 71,83; 29,25; 32,53; e 67,94% nos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’, respectivamente.

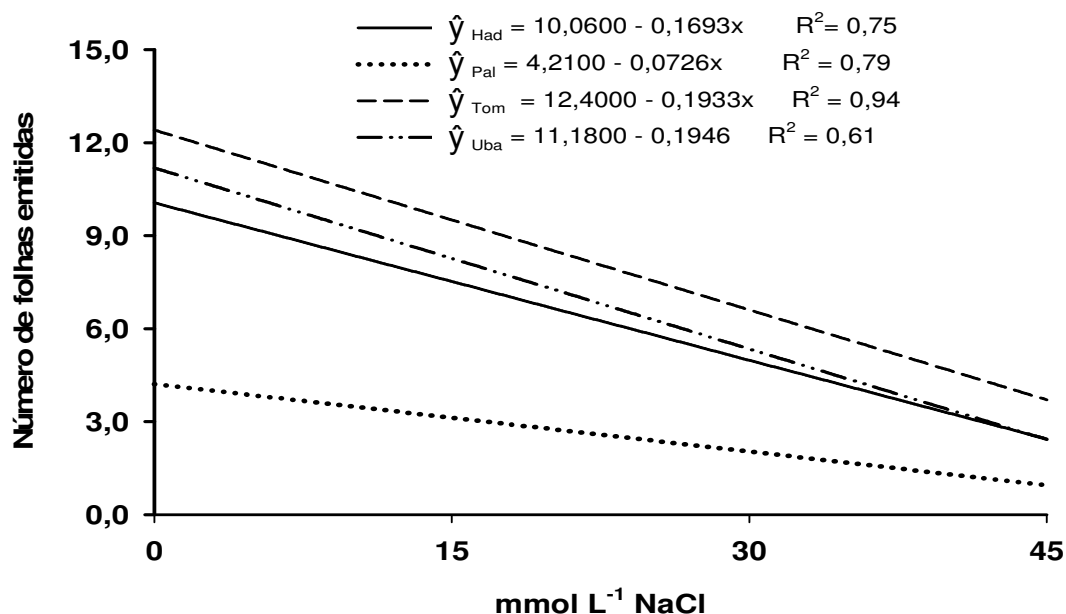
Estes resultados mostram que a combinação copa-portaenxerto exerce influência na tolerância a salinidade, verificada pelo índice de abscisão em torno de 70,0% nos cultivares ‘Haden’ e ‘Ubá’, enquanto que os cultivares ‘Palmer’ e ‘Tommy Atkins’ apresentaram índice em torno de 30,0%, ambos na maior concentração de sais.

Chartzoulakis et al. (2002) observaram decréscimo da área foliar total em oliveiras submetidas a estresse salino a partir da concentração de 25 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, alcançando redução de 85% em 200 mmol L<sup>-1</sup> NaCl nos cultivares ‘Mastoidis’ e ‘Amphissis’ devido a ocorrência de abscisão foliar.

Bañuls & Primo-Millo (1995) observaram índices diferenciados de abscisão foliar em cultivares de citros enxertados e submetidos a estresse salino. As combinações copa-portaenxerto ‘Navel/Citrange Troyer’, ‘Navel/Cleopatra’, ‘Clementina/Citrange Troyer’ e ‘Clementina/Cleopatra’ cultivados em 60 mmol L<sup>-1</sup> NaCl apresentaram índices de abscisão foliar de 70,0; 45,0; 42,0; e 20,0%, respectivamente.

#### 4.1.3 – Número de folhas emitidas

A emissão de folhas foi influenciada pelas concentrações de NaCl em todos os cultivares, ocorrendo decréscimos do número de folhas emitidas em função do aumento das concentrações de NaCl (Figura 4).



**Figura 4** – Número médio de folhas emitidas pelos cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.



Nas plantas cultivadas na menor concentração (15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) a estimativa média de decréscimo do número de folhas emitidas foi de 25,0 ± 2,0% para todos os cultivares. Já nas plantas cultivadas na maior concentração (45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) em relação às plantas controle (0 mmol L<sup>-1</sup> NaCl), o decréscimo do número de folhas emitidas foi de 75,73; 77,60; 70,15; e 78,33% nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente.

Embora trabalhando com seedlings de portaenxertos de mangueiras, Mirisola Filho (2003) avaliando a tolerância ao estresse salino dos portaenxertos 'Soares Gouveia', 'Amarelinha', 'Carlotinha', 'Espadinha', 'Ubá', 'Extrema' e 'Felipe' em substrato de areia, observou menor número de folhas com o aumento das concentrações de NaCl no substrato. No cultivar 'Ubá' o decréscimo foi de 69% no número de folhas na concentração de 80 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

Decréscimos do número de folhas também foram observados por Santos & Souza (2003) avaliando o desenvolvimento inicial de mudas dos portaenxertos 'Espada' e 'Ubá' submetidos a estresse salino (1,82; 4,31; 5,93; 7,15; e 8,35 dS.m<sup>-1</sup>), utilizando o solo como substrato. Estes autores constataram que o aumento da concentração salina reduziu drasticamente a quantidade de folhas emitidas, em ambos os cultivares.

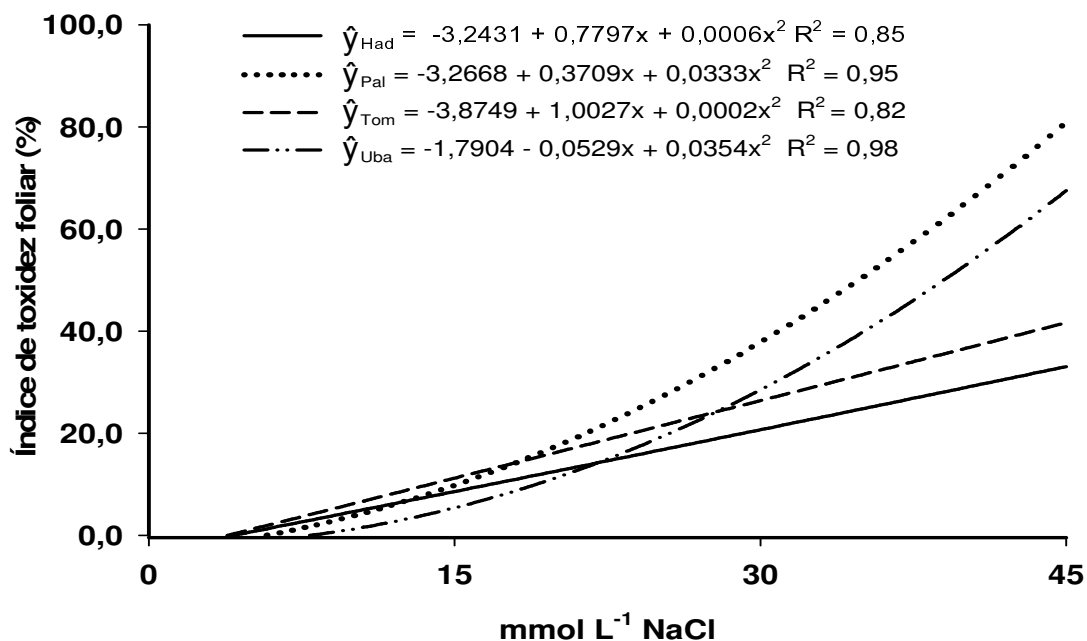
A pequena produção de tecido foliar novo pode causar aumento excessivo nos teores dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas folhas desenvolvidas (Figuras 20 e 22) desencadeando os processos de senescência (Figura 3) e de necrose foliares (Figura 5), que influenciam e alteram o processo fotossintético (Figuras 25, 26 e 27), reduzindo a quantidade de fotoassimilados importantes para o crescimento vegetal (Munns, 1993). Mass & Nieman (1978) afirmam que as plantas precisam reduzir a emissão de folhas para se adaptarem à nova condição de estresse salino e hídrico, e deste modo, manter a turgescência celular.

#### **4.1.4 – Índice de toxidez nas folhas**

As plantas cultivadas na concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl não apresentaram sintomas visíveis de toxidez nas folhas. Embora, na Figura 5, o modelo estatístico escolhido apresente um índice de aproximadamente 10% de

toxidez, somente a partir da concentração de 30 mmol L<sup>-1</sup> NaCl os sintomas tornaram-se evidentes e foram observados em todos os cultivares analisados.

Os sintomas de toxidez foliar foram caracterizados pelo surgimento de cloroses e/ou necroses no ápice e margens das folhas, isoladas no início e, coalescendo com evolução em direção a nervura central com o aumento no período de exposição ao estresse.



**Figura 5** – Índice de toxidez (áreas necróticas e/ou cloróticas em relação à área total) nas folhas de cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

As estimativas dos níveis de toxidez nas folhas foram de 67,51 e 80,85 % nos cultivares ‘Ubá’ e ‘Palmer’, respectivamente, quando as plantas foram cultivadas em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Já ‘Haden’ e ‘Tommy Atkins’ apresentaram menores índices de toxidez com valores estimados em 33,05 e 41,65%, respectivamente, na maior concentração de NaCl (Figura 5).

Paranychianakis & Angelakis (2008) observaram sintomas de toxidez foliar em videira cv. ‘Soultanina’ enxertadas sobre os portaenxerto ‘41B’, ‘1103P’, e ‘110R’ irrigadas com água de efluente salino, sendo os sintomas mais severos quando irrigados com 50% da evapotranspiração potencial.

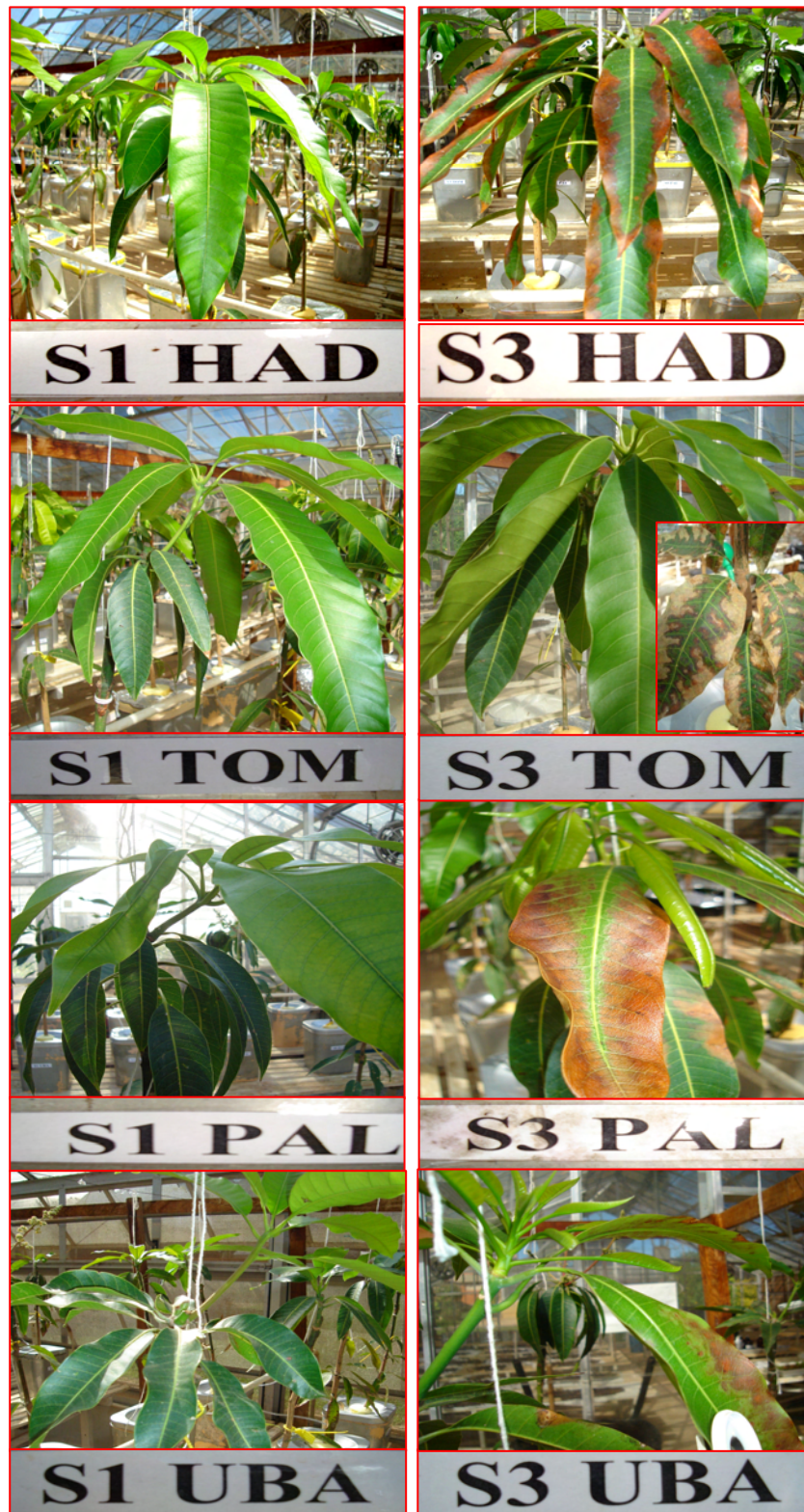


Foto 4 – Plantas de mangueiras submetidas a  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl (S1) e  $45 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl (S3) aos 53 dias após exposição ao estresse salino. Observar que para este período de exposição ao estresse, o cultivar ‘Tommy Atkins’ apresentou incidência de toxidez apenas nas folhas ‘baixeiras’. Nas plantas submetidas a  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl não foi observado sintomas visíveis de fitotoxidez em todo período do experimento. TOM = ‘Tommy Atkins’; HAD = ‘Haden’; PAL = ‘Palmer’ e UBA = ‘Ubá’.



Foto 5 – Evolução dos sintomas de toxidez nas folhas de plantas de mangueiras submetidas a estresse salino. Inicialmente ocorrem sintomas nas folhas mais velhas ('baixeiras') (A), seguido de redução na atividade meristemática (B). Após um período de aproximadamente 60 dias de exposição a salinidade, os sintomas de clorose de forma isoladas nas margens se torna aparente (C) que evolui para uma necrose generalizada em direção a nervura central da folha (D). Com o aumento no período de exposição ao estresse salino, esses sintomas ocorrem em folhas novas recém lançadas (E e F).

A ausência de sintomas visíveis de toxidez na concentração de  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl pode ser um indicativo de que as combinações copa-portaenxerto analisadas apresentam uma tolerância a baixas concentrações de NaCl. No entanto, o tempo de exposição ao estresse salino pode não ter sido suficiente para diagnosticar o estresse em baixa concentração de sais. O ciclo perene apresentado pela mangueira requer maior tempo de observação para se obter uma resposta com maior grau de precisão.

Sintomas de toxidez em framboesa (*Rubus idaeus* L.) submetida a estresse salino foram observados por Neocleous & Vasilakakis (2007) 30 dias após a exposição ao estresse. Segundo estes autores as necroses foram observadas inicialmente nas pontas das folhas, que foram evoluindo para a

área central das folhas com o tempo de exposição ao estresse. Especificamente os sintomas foram observados em folhas mais velhas, que finalmente sofreram abscisão. Em contraste, as folhas mais novas não apresentaram quaisquer sintomas de necrose, possivelmente devido ao tempo relativamente curto de exposição ao estresse. Os sintomas foram mais evidentes nas concentrações de 20 a 30 mM NaCl.

#### **4.1.5 – Área foliar total**

Em plantas de todos os cultivares, exceto ‘Tommy Atkins’, ocorreu redução linear da área foliar total da planta em função do aumento das concentrações de NaCl (Figura 6). Nas plantas cultivadas na maior concentração (45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) em relação as plantas controle (0 mmol L<sup>-1</sup> NaCl), o decréscimo da área foliar foi de 96,18; 82,14; 94,73; e 88,46% nos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’, respectivamente.

As plantas cultivadas na menor concentração (15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) apresentaram estimativas de decréscimo de 32,06; 27,38; 17,24; e 29,49% nos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’, respectivamente.

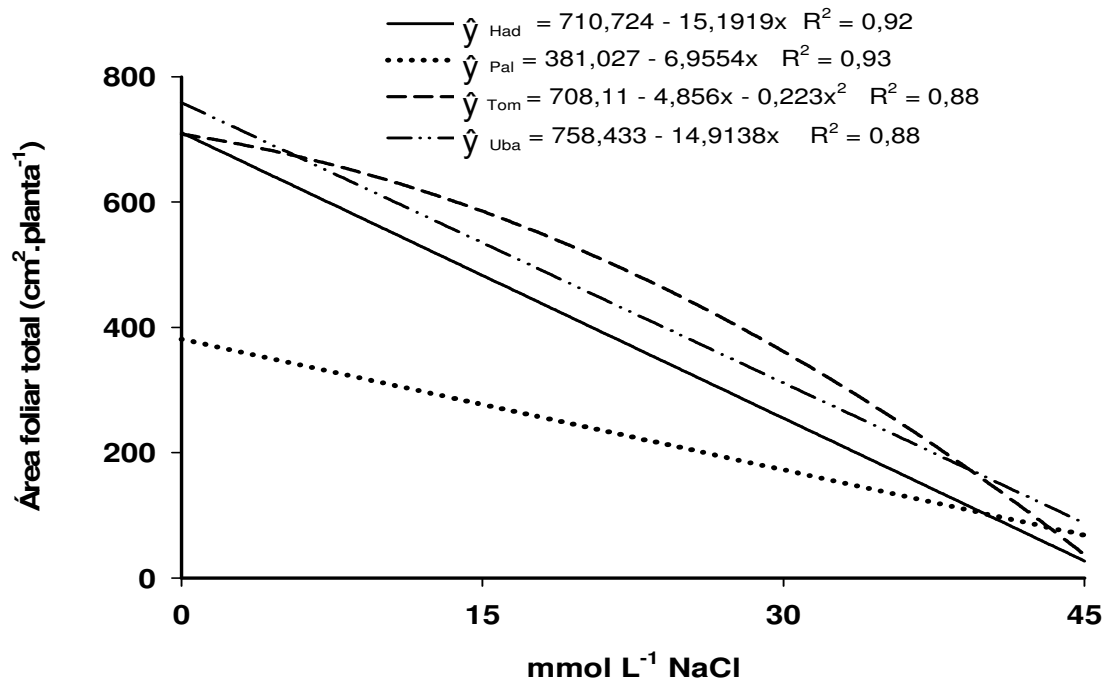
Schmutz & Lüdders (1993) também observaram decréscimo da área foliar do portaenxerto de mangueira ‘13/1’ quando submetidos, em condições de campo, à água de irrigação com diferentes concentrações salinas.

Chartzoulakis et al. (2002) observaram decréscimo da área foliar total de seis cultivares de oliveiras submetidas a estresse salino (0, 25, 50, 100 e 200 NaCl adicionado em substrato contendo areia-perlita na relação 1:3) somente a partir da concentração de 50 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. As plantas cultivadas em 25 mmol L<sup>-1</sup> NaCl apresentaram área foliar igual às plantas controle.

Em plantas dos clones de cajueiro anão-precoce submetidos a estresse salino, foi observado redução da área foliar total (Alvarez Pizarro, 2006). A redução foi de 16,80 e 22,70% na condutividade elétrica de 8 dS.m<sup>-1</sup> nos clones ‘CCP 09’ e ‘CCP 06’, respectivamente. Quando estas plantas foram cultivadas na condutividade elétrica de 16 dS.m<sup>-1</sup>, a redução foi mais pronunciada apresentando valores estimados em 45,20 e 47,1%, respectivamente nos clones ‘CCP 09’ e ‘CCP 06’.

Goreta et al. (2008) avaliando a tolerância de melancia cv. ‘Fantasy’ enxertado sobre os portaenxertos ‘Emphasis’, ‘S1’ e ‘Strong Tosa’ cultivados

em solução nutritiva, com condutividade elétrica de 2,2; 4,0; e 6,0 dS.m<sup>-1</sup> por duas semanas, observaram redução da área foliar, independentemente do portaenxerto utilizado.



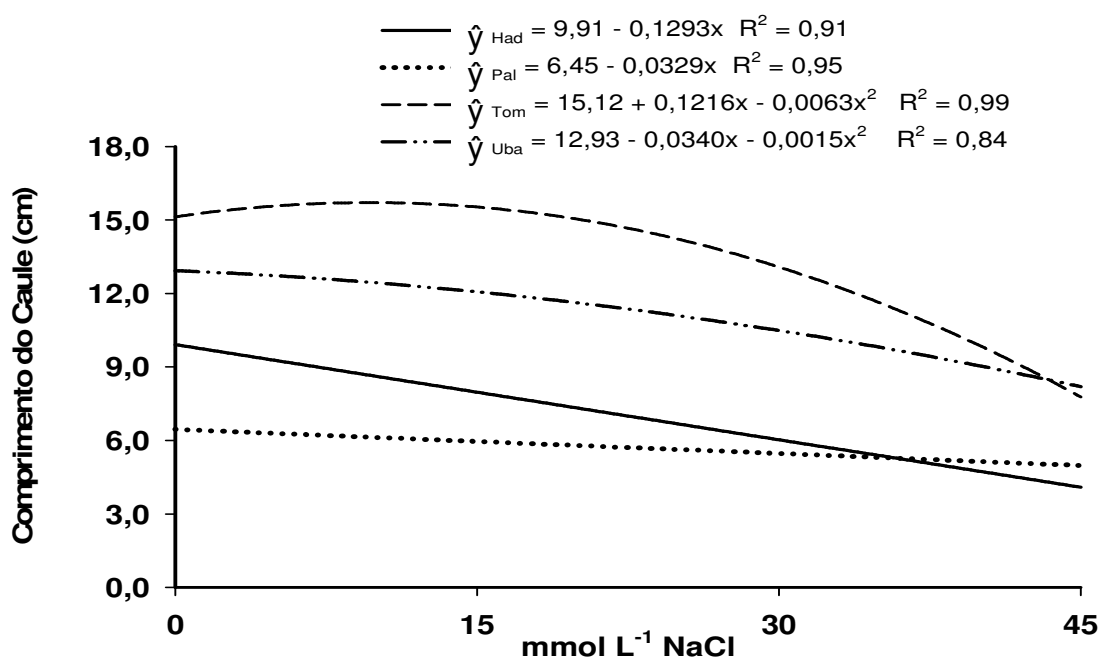
**Figura 6** – Área foliar total (cm<sup>2</sup>.planta<sup>-1</sup>) dos cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Segundo Munns & Termaat (1986), o declínio na área foliar é uma das respostas iniciais das glicófitas (plantas sensíveis a estresse salino) quando expostas ao estresse salino. De acordo com Neumann (1997), o menor crescimento foliar causado pelos estresses hídrico e salino pode representar uma resposta adaptativa das plantas que crescem naturalmente em regiões semi-áridas. Neste caso, a menor área foliar limita a taxa do fluxo transpiratório, levando ao uso mais eficiente da água disponível no solo, reduzindo a absorção de íons tóxicos e prolongando a sobrevivência da planta.

Desta forma, a redução na expansão celular das folhas jovens (Figura 2), seguida do surgimento de áreas cloróticas e/ou necróticas (Figura 5) com subsequente abscisão foliar (Figura 3) nas folhas completamente desenvolvidas proporcionaram o decréscimo da área foliar total da planta (Figura 6).

#### 4.1.6 – Comprimento do caule

O crescimento do caule, caracterizado pelo seu alongamento após a exposição da planta ao estresse salino, foi reduzido em todos os cultivares analisados (Figura 7). O alongamento do caule do cultivar 'Tommy Atkins' apresentou ponto máximo de 15,70 cm na concentração de 9,65 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Entretanto, a partir da concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl observa-se um decréscimo progressivo no alongamento do caule para este cultivar.



**Figura 7** – Comprimento médio do caule (cm) dos cultivares de mangueiras 'Haden' (Had), 'Palmer' (Pal), 'Tommy Atkins' (Tom) e 'Ubá' (Uba) enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

O decréscimo no alongamento do caule, em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, foi de 58,71; 22,95; 48,18; e 35,32% nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente, em relação ao crescimento das plantas controle.

Verifica-se, ainda na Figura 7, que as plantas cultivadas em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl apresentaram pouco decréscimo na taxa de crescimento, embora o cultivar 'Haden' tenha se apresentado mais sensível.

Chartzoulakis et al. (2002) observaram redução no crescimento do caule de oliveiras somente a partir da concentração de 25 mmol L<sup>-1</sup> NaCl para os

cultivares 'Koroneiki', 'Kalamata' e 'Megaritiki' e a partir de 50 mmol L<sup>-1</sup> NaCl para os cultivares 'Mastoidis', 'Amphissis' e 'Kothreiki'.

Radic et al. (2005) estudando os efeitos citogenéticos de NaCl e manitol sobre as células do meristema radicular de *Centaurea ragusina* L., por um período de 10 dias de exposição ao estresse, observaram maior índice de mitose em plantas crescidas em meio contendo 150 mmol L<sup>-1</sup> NaCl em relação às plantas controle. No entanto, o meio contendo altas concentrações salinas (300, 450 e 600 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) causou a inibição total da atividade mitótica nas células do meristema radicular, devido a danos na membrana, citoplasma e núcleo da célula.

O estresse salino também induz mudanças nos processos relacionados às paredes celulares (Kinraide, 2004), que são muito sensíveis a modificações no seu conteúdo de água, uma vez que cerca de 75% de sua massa fresca consiste de denso gel aquoso (Chazen & Neumann, 1994; Passioura, 1994). Segundo Cosgrove (1997), a água reduz a interação entre polímeros da parede celular e facilita a expansão da parede celular. Em consequência, modificação na hidratação da parede celular irá influenciar as propriedades mecânicas da parede celular e sua porosidade para enzimas e outras espécies de baixo peso molecular.

No entanto, Goreta et al. (2008) observaram aumento de 35,0% no comprimento do caule de melancia cv. 'Fantasy' enxertado sobre 'Strong Tosa' nas plantas cultivadas na condutividade elétrica de 4,0 dS.m<sup>-1</sup> quando comparado a 2,2 dS.m<sup>-1</sup>.

O limiar em que os níveis dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> podem afetar positivamente o crescimento nos níveis de célula, órgão e planta inteira variam com a espécie, o estágio fenológico e o período de exposição a estes íons.

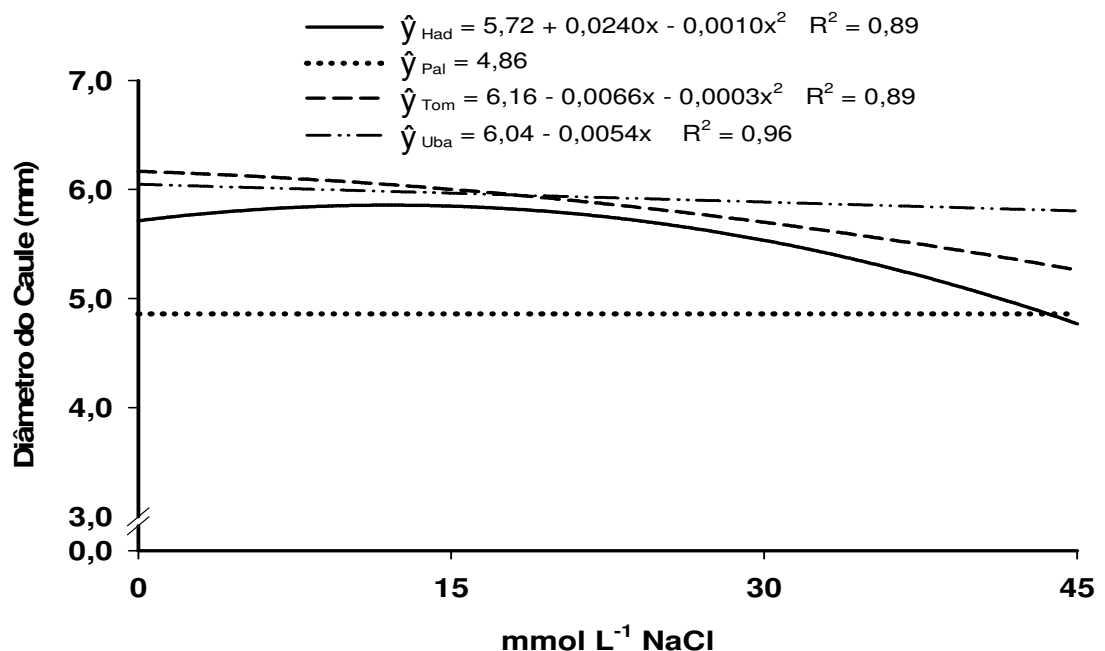
#### **4.1.7 – Diâmetro do caule**

Embora em proporção menor, da mesma forma que o crescimento do caule, o diâmetro do caule também foi influenciado pela salinidade. Observa-se na Figura 8 que todos os cultivares, exceto 'Palmer', apresentaram menor diâmetro do caule em função do aumento da salinidade. Para o cultivar 'Palmer', que não apresentou interação significativa ao nível de 5% com as



concentrações de NaCl, aplicou-se o valor médio do diâmetro do caule para todas as doses de NaCl (Figura 8).

Além de 'Palmer', o cultivar 'Ubá' também apresentou baixa sensibilidade ao aumento das concentrações de NaCl, quanto ao diâmetro do caule. Verifica-se, em 'Ubá', redução no diâmetro de apenas 4,02% na maior concentração salina. Embora avaliando o diâmetro do coleto, Mirisola Filho (2003) observou que os seedlings do cultivar 'Ubá' foram os que apresentaram maior redução no diâmetro, com o estresse salino, dentre os seedlings de portaenxertos analisados. Nos cultivares 'Haden' e 'Tommy Atkins' a estimativa de redução do diâmetro foram de 16,52 e 14,68%, respectivamente.



**Figura 8** – Diâmetro médio do caule (mm) dos cultivares de mangueiras 'Haden' (Had), 'Palmer' (Pal), 'Tommy Atkins' (Tom) e 'Ubá' (Uba) enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

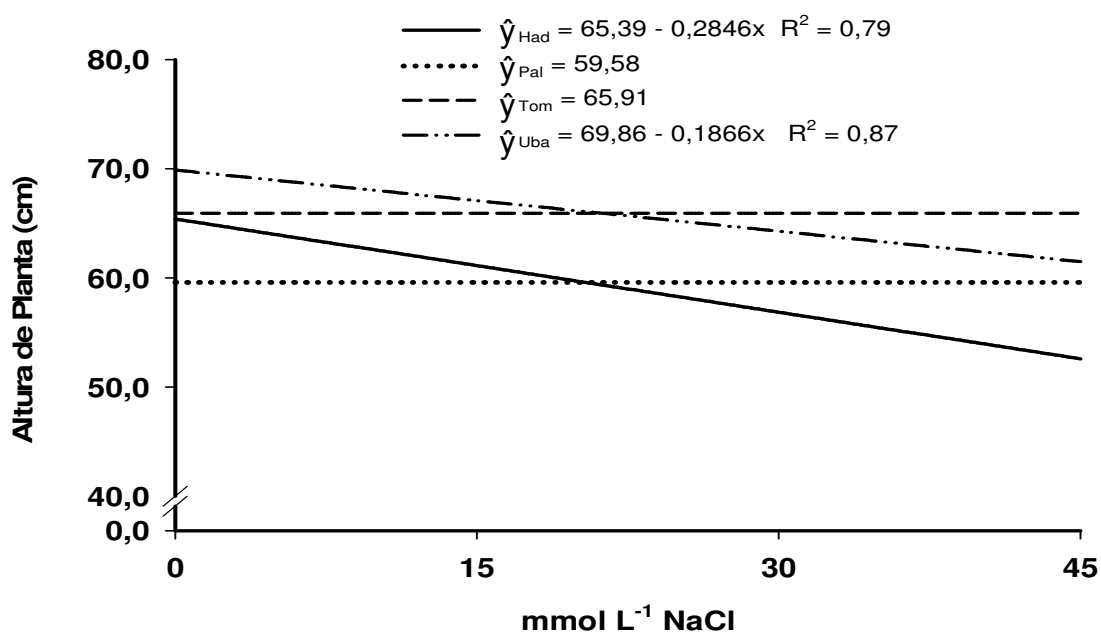
Santos & Souza (2003) avaliando o desenvolvimento inicial de portaenxertos de mangueira submetidos a estresse salino por um período de 90 dias, utilizando o solo como substrato, observaram redução no diâmetro do caule de 91,14 e 93,05% nos seedlings dos cultivares 'Espada' e 'Ubá', respectivamente, quando submetidos à condutividade elétrica de 8,35 dS.m<sup>-1</sup>.

Observações semelhantes foram reportadas por Jindal et al. (1975) em mangueiras, Bernstein et al. (2001) em abacate e Silva et al. (2008a) em

*Spondias tuberosa*, que observaram redução acentuada no crescimento do diâmetro do caule destas espécies quando expostas ao excesso de sais.

#### 4.1.8 – Altura das plantas

A altura das plantas dos cultivares ‘Haden’ e ‘Ubá’ foi influenciada pelo NaCl. Para os cultivares ‘Palmer’ e ‘Tommy Atkins’ não houve interação da altura com as concentrações de NaCl, ao nível de 5% de significância, ficando dessa forma aplicado o valor médio da característica para todas as doses de NaCl (Figura 9).



**Figura 9** – Altura média das plantas (cm) dos cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxeto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Observa-se que os cultivares ‘Haden’ e ‘Ubá’ apresentaram redução linear da altura de planta em função do aumento das concentrações de NaCl adicionadas à solução nutritiva, apresentando decréscimo de 19,58 e 12,01%, respectivamente.

A redução na altura das plantas em função do aumento das concentrações de NaCl na solução nutritiva foi reportada por Schmutz & Lüdders (1999), Mirisola Filho (2003) e Santos & Souza (2003) em

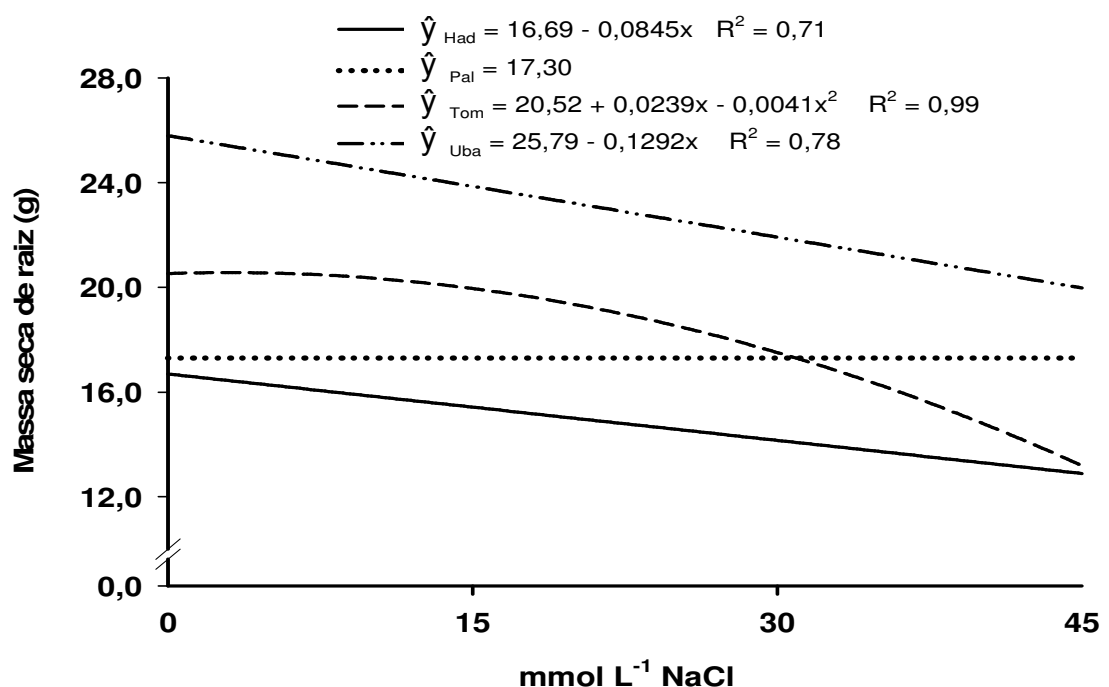
portaenxertos de mangueira, Viana et al.(2001) em portaenxertos de videira e Fernandes et al. (2003) em mudas de pupunheira.

A altura de planta tem sido utilizada com freqüência para avaliar a tolerância de plantas a salinidade por apresentar alta correlação com o acúmulo de massa seca, que é resultado da fixação de carbono e da absorção de nutrientes.

## 4.2 – Massa Seca

### 4.2.1 – Massa seca das raízes

Seguindo o padrão das características biométricas avaliadas, a massa seca das raízes foi reduzida em função do aumento nas concentrações de NaCl, exceto para ‘Palmer’, que ao nível de 5% de significância não houve interação com as concentrações de NaCl. Dessa forma foi utilizado o valor médio da característica para todas as doses de NaCl (Figura 10).



**Figura 10** – Massa seca (g) de raízes dos cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

A massa seca das raízes do portaenxerto ‘Imbú’ enxertado com ‘Haden’ e ‘Ubá’ apresentou redução linear, ao passo que enxertado com

'Tommy Atkins' apresentou comportamento quadrático, apresentando ponto de máximo acúmulo de matéria seca (20,55 g MS) em 2,91 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, com subsequente redução nas demais concentrações.

Quando cultivados em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, a redução da massa seca das raízes do portaenxerto 'Imbú' foi de 22,78; 35,22; e 22,54% quando enxertados com 'Haden', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente. Comparando-se na mesma sequência anterior, quando cultivados na menor concentração (15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) em relação às plantas controle, as estimativas de redução da massa seca de raízes foram de 7,59; 2,75; e 7,51%, respectivamente.

Estes resultados estão de acordo com os observados por Mirisola Filho (2003), que observou decréscimo na massa seca das raízes de seedlings dos portaenxertos 'Amarelinha', 'Carlotinha', 'Espadinha', 'Ubá', 'Extrema' e 'Felipe' de 23,3; 48,3; 34,4; 47,2; 25,9; e 39,3%, respectivamente, entre as concentrações de 0 e 80 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

Santos & Souza (2003) também observaram que o aumento do nível de salinidade no solo provocou redução acentuada na massa seca das raízes de seedlings dos portaenxertos 'Espada' e 'Ubá'.

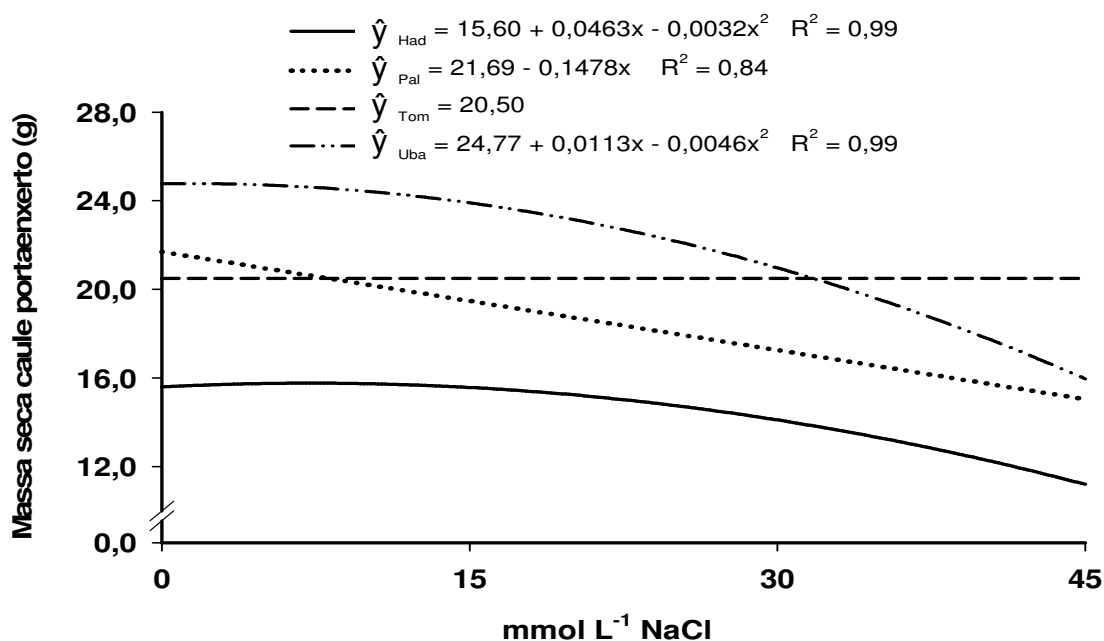
Redução da massa seca de raízes em função do aumento da concentração de NaCl foi reportada Lima et al. (2001) em *Annona squamosa* L., Morais et al. (2007) em cajueiro anão precoce, Cavalcante et al. (2005) em goiabeira cv. 'Paluma', Soares et al. (2002) em maracujazeiro amarelo, Teerarak et al. (2009) em *Allium cepa* L. e Keutgen & Pawelzik (2009) em morangueiro cvs. 'Elsanta' e 'Korona'.

Teerarak et al. (2009) observaram que decréscimo no crescimento das raízes foi associado ao efeito inibitório do NaCl sobre a divisão celular, caracterizado pela redução do índice de mitose, bem como pelo aumento no número de aberrações nos cromossomos em várias fases da mitose.

Segundo Cuartero & Fernández-Muñoz (1999), são várias razões possíveis para a redução do crescimento de raízes sob estresse salino: restrição do crescimento celular por causa do baixo potencial hídrico do meio externo, interferência dos íons salinos com a nutrição da planta ou a toxicidade de íons acumulados levando a morte da célula.

#### 4.2.2 – Massa seca do caule do portaenxerto

A massa seca do caule do portaenxerto ‘Imbú’ foi reduzida com o aumento nas concentrações de NaCl, exceto para a combinação com ‘Tommy Atkins’ que ao nível de 5% de significância não houve interação com as concentrações de NaCl ficando dessa forma aplicado o valor médio da característica para todas as doses de NaCl (Figura 11).



**Figura 11** – Massa seca (g) do caule do portaenxerto ‘Imbú’, enxertado com as mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba), cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

A maior redução da massa seca do caule do portaenxerto ‘Imbú’ ocorreu quando enxertado com o cultivar ‘Palmer’, que apresentou redução de 10,33% em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. No entanto, quando enxertados com os cultivares ‘Haden’ e ‘Ubá’, a massa seca do caule do portaenxerto ‘Imbú’ foi pouco afetada até a concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> de NaCl com redução de 0,61 e 3,49%, respectivamente.

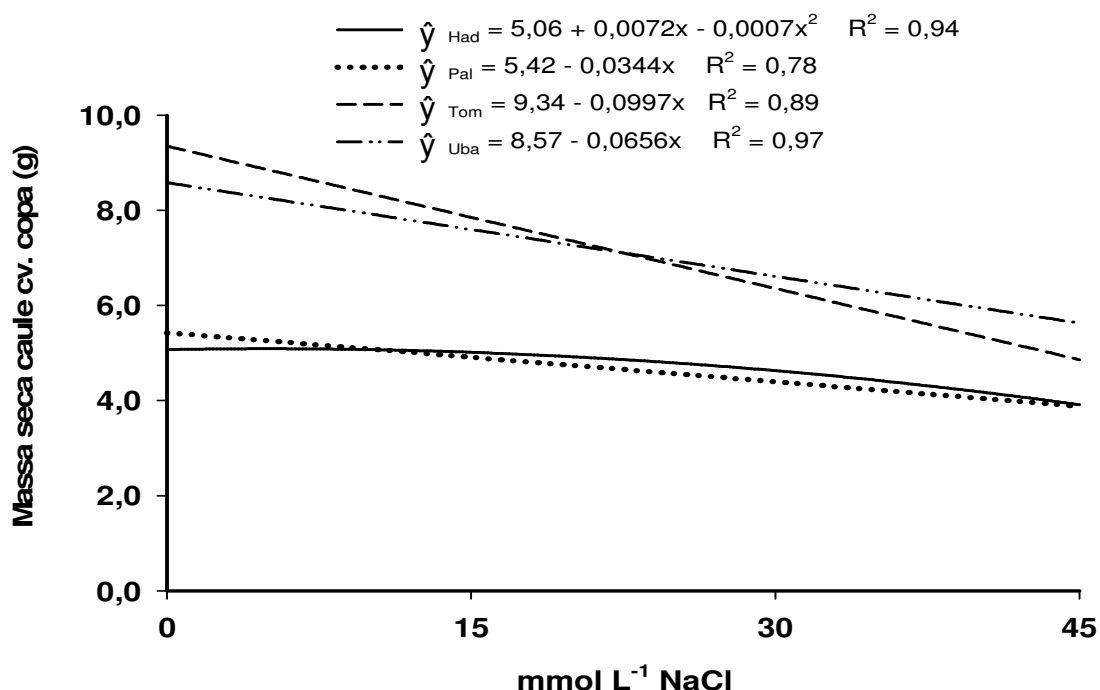
Os maiores valores (15,76 e 24,77 g.planta<sup>-1</sup>) de massa seca do caule do portaenxerto ‘Imbú’ foram observados na concentração de 7,23 e 1,23 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, quando enxertados com os cultivares ‘Haden’ e ‘Ubá’, respectivamente, indicando menor tolerância à salinidade da combinação do portaenxerto ‘Imbú’ com o cultivar ‘Ubá’. Na maior concentração de NaCl (45

mmol L<sup>-1</sup>), a redução de massa seca do caule do portaenxerto ‘Imbú’ foram de 28,18; 30,66; e 35,55% nas combinações com os cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, e ‘Ubá’, respectivamente.

Na literatura não foram encontrados resultados que reportem o ganho de massa seca do caule considerando as porções dos caules portaenxerto e cultivar copa. No entanto, avaliando a massa seca do caule de mudas de mangueira não enxertadas, Mirisola Filho (2003) observou redução de 52,6% na massa seca do caule de seedlings do cultivar ‘Ubá’ quando submetido a 80 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

#### 4.2.3 – Massa seca do caule do cultivar copa

Seguindo a mesma tendência observada na massa seca no caule do portaenxerto, a parte do caule correspondente aos tecidos do cultivar copa também tiveram seu desenvolvimento influenciados pelas concentrações de NaCl (Figura 12).



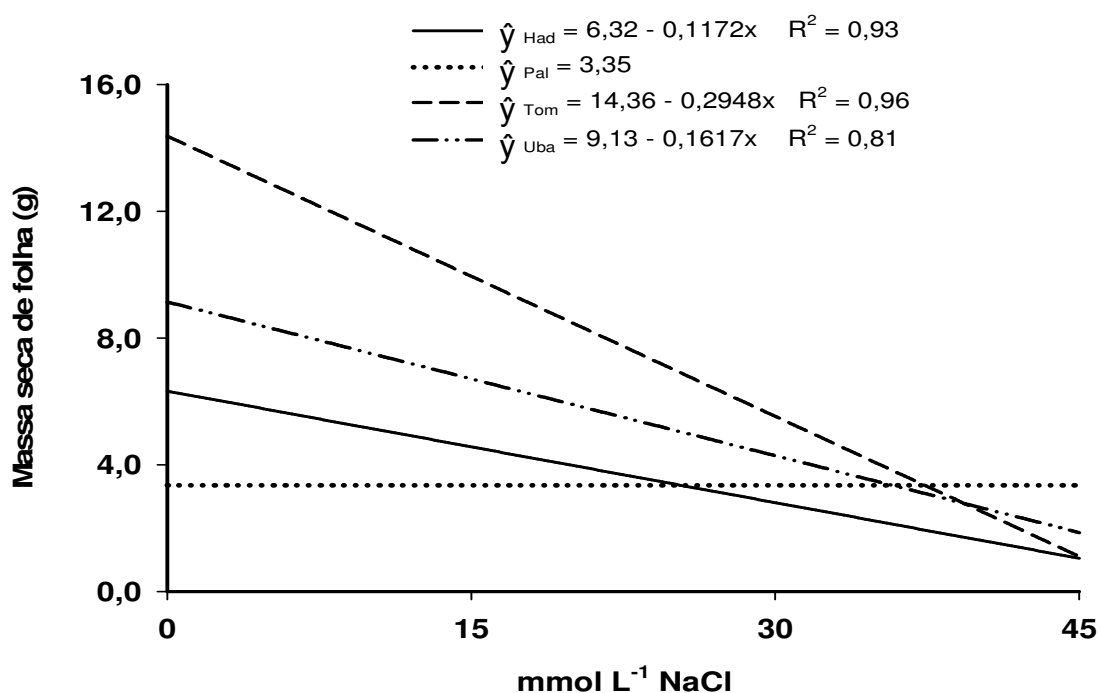
**Figura 12** – Massa seca (g) do caule dos cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba), enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Exceto para o cultivar ‘Haden’, as demais combinações apresentaram redução linear da massa seca. As plantas cultivadas em 15 e 45 mmol L<sup>-1</sup>

NaCl apresentaram respectivamente, 0,98 e 21,61% em 'Haden'; 9,52 e 28,56% em 'Palmer'; 16,01 e 48,03% em 'Tommy Atkins'; e 11,48 e 34,44% em 'Ubá' de decréscimo de massa seca.

#### 4.2.4 – Massa seca de folha

Dentre os órgãos de planta avaliados, a massa seca das folhas, durante o período de exposição das plantas ao estresse salino, foi o que apresentou maior sensibilidade às concentrações de NaCl. Apenas os valores obtidos para 'Palmer' não apresentaram ajuste significativo ao nível de 5% de significância, ficando dessa forma aplicado o valor médio da característica para todas as doses de NaCl (Figura 13).



**Figura 13** – Massa seca (g) de folhas dos cultivares de mangueiras 'Haden' (Had), 'Palmer' (Pal), 'Tommy Atkins' (Tom) e 'Ubá' (Uba), enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Este comportamento do cultivar 'Palmer' pode está relacionado a surtos de florescimento ocorrido no período em que foi submetida ao estresse salino, causando alta variabilidade (erro experimental) em quase todas as características de crescimento avaliadas.

A ordem de redução nos valores de massa seca nas folhas foi de 83,45; 92,38; e 79,70% nos cultivares 'Haden', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente, quando cultivados em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

Alvarez Pizarro (2006) estudando a tolerância de clones de cajueiro anão-precoce à salinidade, em condições de substrato de vermiculita, constatou redução na massa seca das folhas de 20,0 a 32,0% em relação às plantas controle quando cultivado em solução nutritiva com condutividade elétrica de 8 dS.m<sup>-1</sup>.

Decréscimo da massa seca de folhas de mangueiras em função da salinidade foi reportado por Mirisola Filho (2003), que constatou redução da massa seca estimada em 77,0; 59,2; e 52,1% nos seedlings dos portaenxertos 'Ubá', 'Carlotinha' e 'Extrema', respectivamente, na concentração de 80 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Decréscimo da massa seca de folhas em outras culturas agrônômicas submetidas a estresse salino também foram reportadas por Keutgen & Pawelzik (2009), Goreta et al. (2008) e Cavalcante et al. (2005).

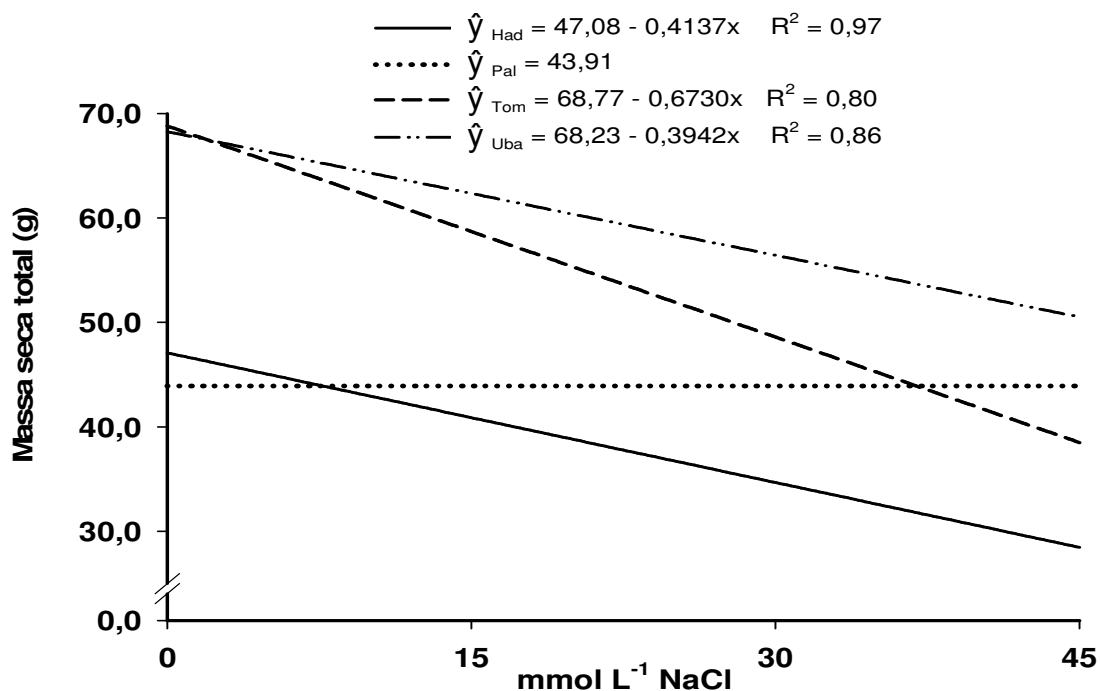
A massa seca das folhas que sofreram abscisão ao longo do período de exposição ao estresse salino foi determinada. Sugere-se dessa forma que o decréscimo da massa seca de folhas esteja associado à menor taxa de emissão foliar (Figura 4), à menor área foliar média (Figura 2) e à menor área foliar total da planta (Figura 6).

#### **4.2.5 – Massa seca total**

Em consequência do decréscimo da massa seca de raízes, do caule do portaenxerto, do caule do cultivar copa e das folhas, a massa seca total da planta foi reduzida em função dos níveis de salinidade aplicados, exceto para 'Palmer', onde os valores obtidos não apresentaram ajuste significativo ao nível de 5%, ficando dessa forma aplicado o valor médio da característica para todas as doses de NaCl (Figura 14).

Quando comparada com as plantas controle, a concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl causou uma redução de 13,18; 14,68; e 8,66% no crescimento dos cultivares 'Haden', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente.





**Figura 14** – Massa seca total (g) dos cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba), enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

À medida que aumentou a concentração de NaCl na solução nutritiva, este decréscimo torna-se mais acentuado, alcançando valores estimados de redução de 39,55% em ‘Haden’, 44,04% em ‘Tommy Atkins’ e 26,00% em ‘Ubá’ da massa seca total das plantas expostas a 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

Estes resultados estão de acordo com os encontrados na literatura para algumas plantas frutíferas. Mirisola Filho (2003) observou redução da massa seca total em função do aumento nas concentrações de NaCl em todos os seedlings de portaenxertos de mangueiras avaliados. Este autor destaca a redução de 58,5 e 53,0% respectivamente nos cultivares ‘Ubá’ e ‘Carlotinha’ quando submetidos a 80 mmol L<sup>-1</sup> NaCl em substrato de areia.

Alvarez Pizarro (2006) estudando a tolerância de cajueiro a salinidade, observou que o clone ‘CCP 06’ apresentou reduções de 22,5 e 44,0% na massa seca da parte aérea quando submetidos à condutividade elétrica de 8 e 16 dS.m<sup>-1</sup>, respectivamente.

Viana et al. (2001) avaliando a tolerância de portaenxertos de videira à salinidade em solução nutritiva, observaram uma redução na produção de

massa seca estimada em 86,0 e 44,0% respectivamente nos cultivares 'IAC-313' e 'Riparia do Traviú'.

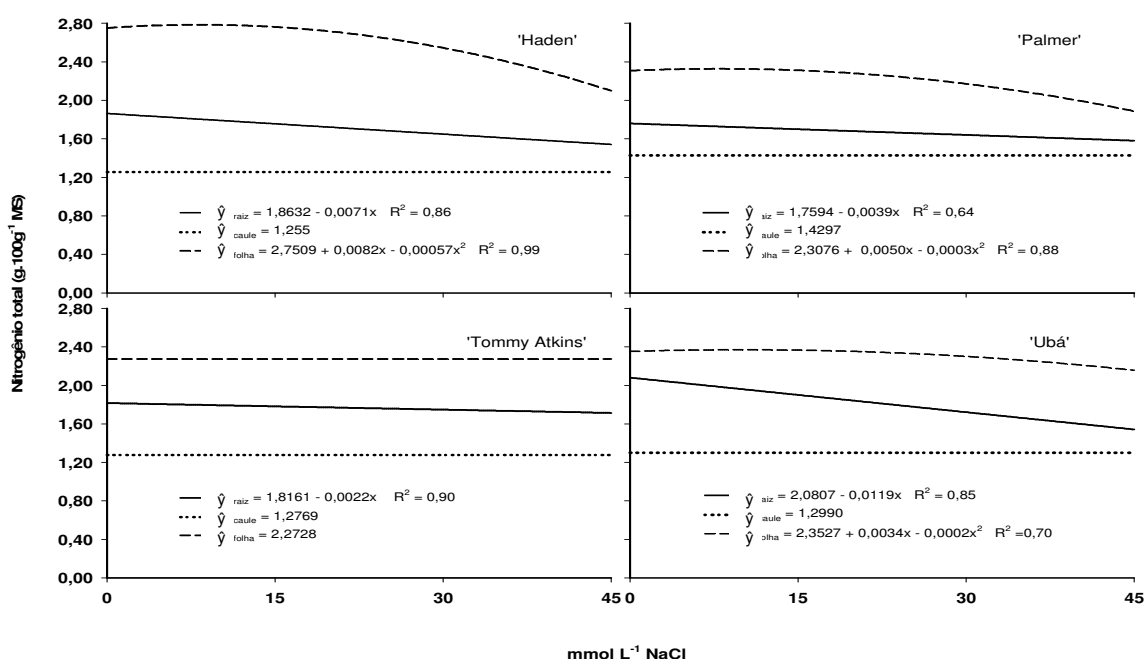
Bañuls & Primo-Millo (1995) observaram decréscimo da massa seca total de citros enxertados nas combinações copa-portaenxerto 'Navel/Troyer' (70,0%), 'Navel/Cleópatra' (50,0%), 'Clementina/Troyer' (30,0%) e 'Clementina/Cleópatra' (20,0%) em 40 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, evidenciando que a habilidade em tolerar o estresse salino depende da interação copa-portaenxerto.

Segundo Paranychianakis & Chartzoulakis (2005) os efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento das plantas estão associados à sua interferência nos processos de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (Figura 27) por unidade de área foliar, de translocação de carboidratos para tecidos drenos e no desvio de fontes de energia para outros processos, tais como: ajustamento osmótico (Figura 28), síntese de solutos compatíveis, reparo de danos causados pela salinidade e manutenção dos processos metabólicos básicos.

## 4.3 – Teores de Nutrientes

### 4.3.1 – Nitrogênio total

Os teores de nitrogênio total nas folhas e nas raízes foram reduzidos nas maiores concentrações de NaCl adicionadas à solução nutritiva, ao passo que no caule não ocorreu diferenças significativas do teor de nitrogênio, em todos os cultivares analisadas (Figura 15).



**Figura 15** – Teor de nitrogênio total (g.100g<sup>-1</sup> MS) nos órgãos dos cultivares de mangueiras 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

No cultivar 'Haden' o maior teor de nitrogênio foliar (2,78g.100g<sup>-1</sup> MS) ocorreu na concentração de 7,19 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. No cultivar 'Palmer' o maior teor (2,33g.100g<sup>-1</sup> MS) foi observado na concentração de 8,33 mmol L<sup>-1</sup> NaCl e finalmente em 'Ubá' o teor máximo de nitrogênio foliar (2,36g.100g<sup>-1</sup> MS) foi estimado na concentração de 8,50 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Para 'Tommy Atkins', o teor de nitrogênio foliar não foi influenciado pelos níveis de salinidade.

Ainda, em relação aos teores de nitrogênio na folha, quando comparado os teores de nitrogênio das plantas cultivadas em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl com os das

plantas controle a redução foi menor que 0,5% em todas as combinações copa-portaenxerto analisadas.

Entretanto, quando estas plantas foram cultivadas em concentrações mais elevadas, o decréscimo nos teores de nitrogênio foliar foi significativo. Na concentração de 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl a redução no teor de nitrogênio na folha foi de 28,54; 16,57; e 25,73% nos cultivares 'Haden', 'Palmer' e 'Ubá', respectivamente.

Estes resultados discordam dos obtidos por Zuazo et al. (2004) avaliando o impacto da salinidade sobre a absorção de macro e micronutrientes do cultivar de mangueira 'Osteen' enxertados sobre os portaenxertos 'Gomera 1' e 'Gomera 3'. Estes autores observaram em condições de substrato (68,4, 23,5 e 8,1% de areia, silte e argila respectivamente) com adição de água cuja condutividade elétrica variou de 1,0 a 2,5 dS.m<sup>-1</sup>, que o teor de nitrogênio total nas folhas não apresentou diferença significativa, apesar de haver ocorrido leve decréscimo com o aumento da salinidade.

No entanto, Morais et al. (2007) estudando o metabolismo de nitrogênio em plantas jovens de cajueiro anão, em meio salino (0 a 100 mmol L<sup>-1</sup> NaCl), observaram redução no teor de nitrogênio total foliar, estimada em 20,0%, quando as plantas foram submetidas à maior concentração salina.

No sistema radicular, o teor de nitrogênio nas raízes reduziu linearmente com o aumento da concentração de NaCl (Figura 15). Nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' o teor de nitrogênio nas raízes foi reduzido em 17,15; 9,97; 5,45; e 25,73%, respectivamente, quando expostas a concentração de 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Estes resultados também foram discordantes dos obtidos por Zuazo et al. (2004), que observaram aumento no teor de nitrogênio radicular com incremento da salinidade na água de irrigação.

O efeito da salinidade sobre a redução do acúmulo de nitrogênio nas plantas é reportada por vários autores (Cram, 1973; Pessarakli & Tucker, 1988; Feigin et al., 1991; Pessarakli, 1991; Al-Rawahy et al., 1992). Segundo Grattan & Grieve (1999) o incremento na absorção e acúmulo de Cl<sup>-</sup> é com frequência acompanhado pelo decréscimo na concentração de NO<sub>3</sub> na parte aérea.

Exemplos de tais efeitos foram encontrados em *Cucumis sativus* L. (Martinez & Cerdá, 1989), *Cucumis melo* L. (Feigin et al., 1987) e *Solanum*

*sculentum* (Kafkafi et al., 1982; Feigin et al., 1987; Martinez & Cerdá, 1989). Muitos autores atribuíram esta redução ao antagonismo de  $\text{Cl}^-$  à absorção de  $\text{NO}_3^-$  (Kafkafi et al., 1982; Feigin et al., 1987; Bar et al., 1997) enquanto outros atribuíram a resposta ao efeito da salinidade sobre a absorção de água (Lea-Cox & Syvertsen, 1993).

Perez-Alfocea et al. (1993) observaram correlação negativa entre a concentração de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  na parte aérea de plantas de tomateiro submetidas a estresse salino. As relações salinidade-nitrogênio de plantas cultivadas são obviamente complexas (Grattan & Grieve, 1999), no entanto, os dados obtidos neste trabalho sugerem que o menor teor de nitrogênio seja resultante do teor excessivo de íons  $\text{Cl}^-$  (Figura 22), da redução da absorção de água (Figura 28) e finalmente da limitação do crescimento vegetativo imposta pela salinidade (Figuras 10 a 14).

Parida & Das (2004) observaram que plantas de *Bruguiera parviflora* submetidas a estresse salino apresentaram redução na atividade da redutase do nitrato (NR) e que a redução na NR foi também acompanhada pelo decréscimo nos níveis de nitrogênio total e a absorção de nitrato. Estes autores sugerem que os decréscimos na atividade da redutase do nitrato, teor de  $\text{NO}_3^-$  e de nitrogênio total pode ser responsável pelo decréscimo no crescimento e produção de biomassas nestas plantas.

#### **4.3.2 – Fósforo**

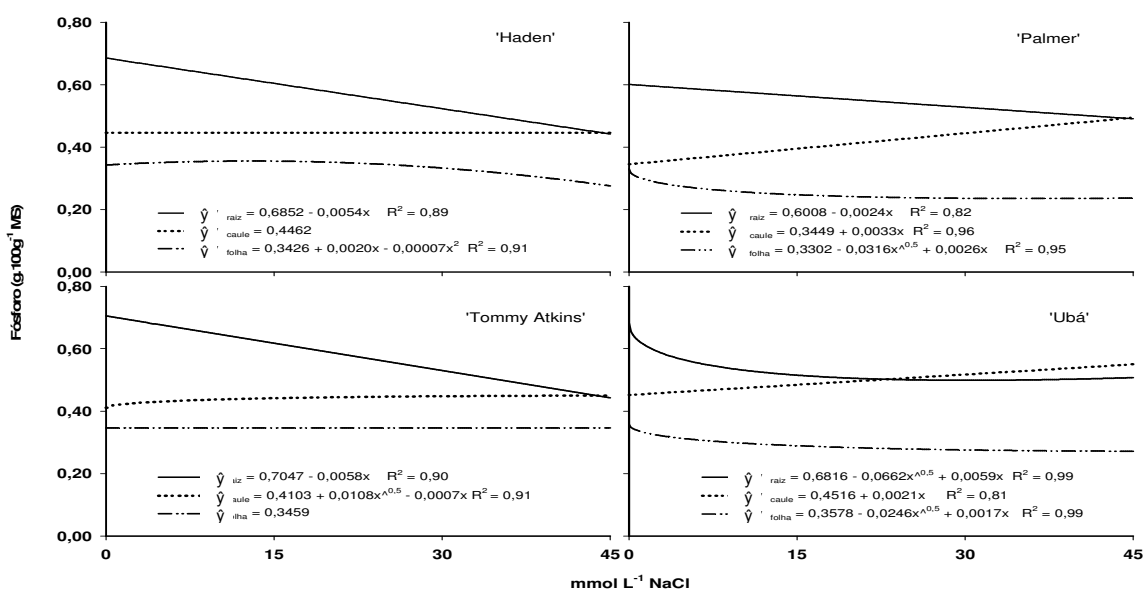
Os teores de fósforo nos diferentes órgãos da planta foram influenciados pelas concentrações de NaCl. Nas raízes e folhas foram observados decréscimos nos teores de fósforo com o aumento da concentração de NaCl. Porém, no caule, exceto para a combinação 'Haden' observa-se um incremento nos teores de fósforo com o aumento da salinidade (Figura 16).

O teor de fósforo foliar em 'Palmer' e 'Ubá' decresceram 25,25 e 19,50%, respectivamente, logo na menor concentração de NaCl ( $15 \text{ mmol L}^{-1}$ ), após a qual apresentou menor taxa de redução nas concentrações subsequentes.

O cultivar 'Haden' apresentou o maior teor de fósforo foliar ( $0,35 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  MS) na concentração de  $14,28 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl, mantendo-se mais ou menos estável até  $30 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl, após a qual ocorreu redução de 15,10% em 45

mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Os valores obtidos para ‘Tommy Atkins’ não apresentaram ajuste significativo para o teor de fósforo foliar.

Estes resultados discordam dos observados por Zuazo et al. (2004) que constataram leve aumento do teor de fósforo foliar no cultivar ‘Osteen’ enxertado sobre o portaenxerto ‘Gomera 3’ e diferença não significativa quando enxertada sobre o ‘Gomera 1’. Contradizem também aos resultados observados por Mirisola Filho (2003) em folhas de portaenxerto de mangueira.



**Figura 16** – Teor de fósforo (g.100g<sup>-1</sup> MS) nos órgãos dos cultivares de mangueiras ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

No caule, o teor de fósforo aumentou com a elevação da concentração salina, exceto em ‘Haden’ que os valores não apresentaram ajuste significativo. Observa-se na Figura 16 que as estimativas de aumentos nos teores de fósforo caulinar foram de 43,05; 9,98; e 20,92 % respectivamente em ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Mirisola Filho (2003) constatou aumento nos teores de fósforo no caule de seedlings dos portaenxertos ‘Soares Gouveia’, ‘Carlotinha’, ‘Ubá’, ‘Extrema’ e ‘Felipe’ de 32,04; 115,00; 73,53; 51,96; e 48,12% respectivamente, quando estas plantas foram cultivadas em 80 mmol L<sup>-1</sup> NaCl em substrato de areia. Zuazo et al. (2004) não observaram diferenças significativa do teor de fósforo no caule.

O sistema radicular foi o órgão da planta mais afetado pela salinidade em relação ao teor de fósforo (Figura 16). Todos os cultivares apresentaram redução de fósforo no sistema radicular com o aumento da concentração de NaCl, discordando da tendência verificada por Mirisola Filho (2003), porém, concordando com a obtida por Zuazo et al. (2004).

Quando comparado com 'Ubá', cujo teor de fósforo foi reduzido em 24,63% em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, os cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' apresentaram menor redução do teor de fósforo radicular, com valores estimados em 11,82; 5,99; 12,34%, respectivamente.

Entretanto, quando estas plantas foram submetidas a maiores níveis de salinidade, a redução do teor de fósforo nas raízes, em relação às plantas controle tornou-se mais acentuada (35,46; 17,97; 37,03; e 26,20 %, respectivamente para 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá').

O maior acúmulo de fósforo no caule das plantas submetidas a estresse salino possivelmente está associado a um efeito da competição com o alto teor de cloreto translocado para as folhas (Figura 22), embora Champagnol (1979) concluiu que é improvável que os íons Cl<sup>-</sup> e HPO<sub>4</sub><sup>-</sup> sejam competitivos em termos de absorção pela planta. A redução na necessidade energética e nos agentes redutores em plantas sob estresse, uma vez que apresentaram taxa fotossintética reduzida (Figura 27), pode estar contribuindo para que o teor de fósforo seja menor nas folhas.

Martinez & Lauchl (1994) avaliando a absorção e distribuição de fósforo marcado radioativamente (<sup>32</sup>P) nas raízes de algodão (*Gossypium hirsutum* L. cv Alcala SJ-2), submetida a 10 e 150 mM de NaCl, observaram que a salinidade inibiu a absorção de fósforo. Dados da absorção de <sup>32</sup>P na solução nutritiva mostraram uma curva hiperbólica típica de Michaelis-Menten (taxa de absorção vs concentração). NaCl incrementou o  $K_m$  aparente (de 2,23 para 4,73 μM) e decresceu a  $V_{max}$  aparente (de 1,18 para 0,87 μmol g<sup>-1</sup>f. wt h<sup>-1</sup>). Alta concentração de NaCl inibiu a absorção de fósforo na zona radicular desenvolvida. No entanto, a salinidade aumentou a absorção de fósforo nas pontas das raízes. Estes autores sugerem que a salinidade pode induzir a alcalinização do citoplasma das raízes finas e incrementando o gradiente de pH transmembrana e portanto absorvendo fósforo. Os resultados desse estudo

também mostraram uma inibição do transporte de  $^{32}\text{P}$  dentro das raízes e das raízes para a parte aérea em plantas submetidas a estresse salino

Outros estudos confirmam que o aumento na salinidade do solo resulta em decréscimos na concentração de fósforo nos tecidos da planta (Sharpley et al., 1992), mas conforme Grattan & Grieve (1994), alguns resultados mostram que a salinidade incrementou ou não teve efeito sobre a absorção de fósforo. Nestes casos a salinidade por um mecanismo ainda desconhecido causa na planta a perda de controle da absorção de fósforo (Roberts et al., 1984) e do transporte para parte aérea. O incremento da acumulação de fósforo na parte aérea é presumivelmente controlado pelas raízes e é independente da composição do sal (Grattan & Maas, 1985).

Segundo Grattan & Grieve (1999) a interação entre salinidade e fósforo em nutrição de plantas é igualmente complexa como a que ocorre entre salinidade e nitrogênio. A interação é altamente dependente da espécie de planta ou cultivar, fase fenológica da planta, nível e composição da salinidade e a concentração de fósforo no substrato. Portanto, dependendo das plantas selecionadas e das condições do experimento, diferentes resultados podem ser obtidos.

#### **4.3.3 – Potássio**

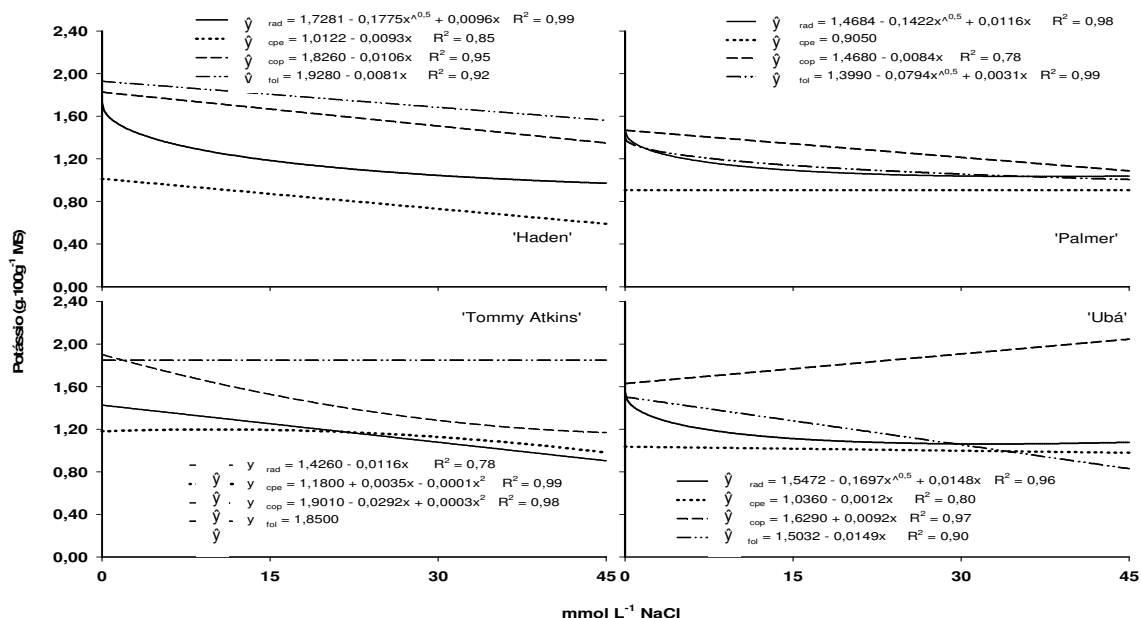
Os teores de potássio, em geral, foram reduzidos em função do aumento da concentração salina na solução nutritiva. Entretanto, os valores do teor de potássio da parte do caule correspondente aos tecidos do portaenxerto não apresentaram ajuste significativo na combinação com os cultivares ‘Palmer’ e ‘Ubá’. Da mesma forma, os valores do teor de potássio nas folhas do cultivar ‘Tommy Atkins’ não apresentaram ajuste significativo (Figura 17).

No entanto, os teores de potássio nas raízes, na parte do caule correspondente aos tecidos do cultivar copa em todas as combinações copa-portaenxerto (exceto ‘Ubá’) e nas folhas (exceto ‘Tommy Atkins’) apresentaram decréscimos em função do aumento da salinidade. Já a parte do caule correspondente aos tecidos do cultivar ‘Ubá’ apresentou maior teor de potássio com o aumento nas concentrações de NaCl na solução nutritiva.

O teor de potássio foliar em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl apresentou decréscimo estimado em 18,90; 28,10; e 44,60% respectivamente nos cultivares ‘Haden’,



'Palmer' e 'Ubá' em relação às plantas controle. Já na concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> o decréscimo foi de 6,30% em 'Haden'; 18,65% em 'Palmer'; e 14,86% em 'Ubá'.



**Figura 17** – Teor de potássio (g.100g<sup>-1</sup> MS) nas raízes (rad), caule do portaenxerto (cpe), caule do cultivar copa (cop) e folhas (fol) dos cultivares de mangueiras 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Mirisola Filho (2003), estudando a translocação e o teor de potássio nas folhas de seedlings de portaenxertos submetidos a estresse salino, observou, nas folhas da base, decréscimo de 47,7% em 'Soares Gouveia' e 20,83% em 'Extrema'. Já nas folhas do ápice constatou aumento de 13,62 e 44,38%, respectivamente nos cultivares 'Soares Gouveia' e 'Ubá' quando cultivadas em 80 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Em folhas de plantas jovens de cajueiro, Alvarez Pizarro (2006) observou decréscimo de 24,5% no clone 'CCP 09' cultivado com condutividade elétrica de 8 dS.m<sup>-1</sup>. No entanto, em 16 dS.m<sup>-1</sup> o decréscimo nos teores de potássio foliar foi estimado em 15% em relação ao controle.

No caule do cultivar copa o decréscimo dos teores de potássio foi estimado em 26,12; 25,75; e 37;16% respectivamente nos cultivares 'Haden', 'Palmer' e 'Tommy Atkins' quando cultivados em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

O caule do portaenxerto 'Imbú' apresentou decréscimo mais acentuado em 'Haden'. Esse decréscimo apresentou valor estimado de 41,34%. Nos demais cultivares o decréscimo no teor de potássio foi menor que 5% em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Mirisola Filho (2003) e Zuazo et al. (2004) que não observaram decréscimo do teor de potássio no caule da maioria dos portaenxertos avaliados. No entanto, em plantas jovens de cajueiro do clone 'CCP 09', Alvarez Pizarro (2006) constatou decréscimo de 20,9% no teor de potássio no caule.

Nas raízes, o teor de potássio apresentou decréscimo acentuado a partir de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. No cultivar 'Tommy Atkins', o teor de potássio decresceu em 12,20%, enquanto que nos demais cultivares o decréscimo nos teores de potássio, em relação às plantas controle, foi mais acentuado, com valores estimados em 31,44; 25,65; e 28,13% nos cultivares 'Haden', 'Palmer' e 'Ubá', respectivamente.

O decréscimo do teor de potássio no sistema radicular em função do estresse salino foi constatado por Zuazo et al. (2004) nos portaenxertos 'Gomera 1' e 'Gomera 3'; Mirisola Filho (2003) em seedlings de sete portaenxertos de mangueira avaliados; Viana et al. (2001) em portaenxertos de videira 'IAC-313', 'IAC-572' e '420-A'; e Alvarez Pizarro (2006) em portaenxertos de cajueiro. Este último autor observou decréscimo no teor de potássio radicular estimado em 25,3% em 'CCP 09' e 46,3% em 'E 51' quando submetidos a 8 dS.m<sup>-1</sup> de condutividade elétrica.

Segundo Grattan & Grieve (1999), o decréscimo nos teores de potássio radicular deve-se à exposição direta das raízes ao sal, o que provoca alterações na integridade e permeabilidade seletiva da membrana plasmática ao potássio. Ainda de acordo com Hasegawa et al. (2000), os sistemas de absorção de potássio são altamente seletivos, quando na zona radicular, as concentrações de potássio e sódio são semelhantes. No entanto, esses transportadores perdem a capacidade seletiva quando o íon Na<sup>+</sup> encontra-se em excesso em relação ao íon K<sup>+</sup>.

#### 4.3.4 – Cálcio

Os teores de cálcio variaram de acordo com a combinação copa-portaenxerto e o órgão da planta analisados. Analisando os teores de cálcio foliar, observa-se que os valores observados para 'Haden' não apresentaram ajuste significativo. Já no cultivar 'Palmer' ocorreu decréscimo linear do teor de cálcio, foliar enquanto que em 'Ubá' este decréscimo se deu apenas a partir de 30 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Inversamente ao que se verificou nos demais cultivares, 'Tommy Atkins' apresentou aumento de cálcio na folha em função do aumento nos níveis de salinidade (Figura 18).

Zuazo et al. (2004) observaram aumento nos teores de cálcio foliar de mangueira cv. 'Osteen' em função do aumento da salinidade da água de irrigação. Viana et al. (2001) em videira e Mirisola Filho (2003) em mangueira não detectaram diferenças significativas dos teores de cálcio nas folhas do ápice nas maioria dos portaenxertos analisados.

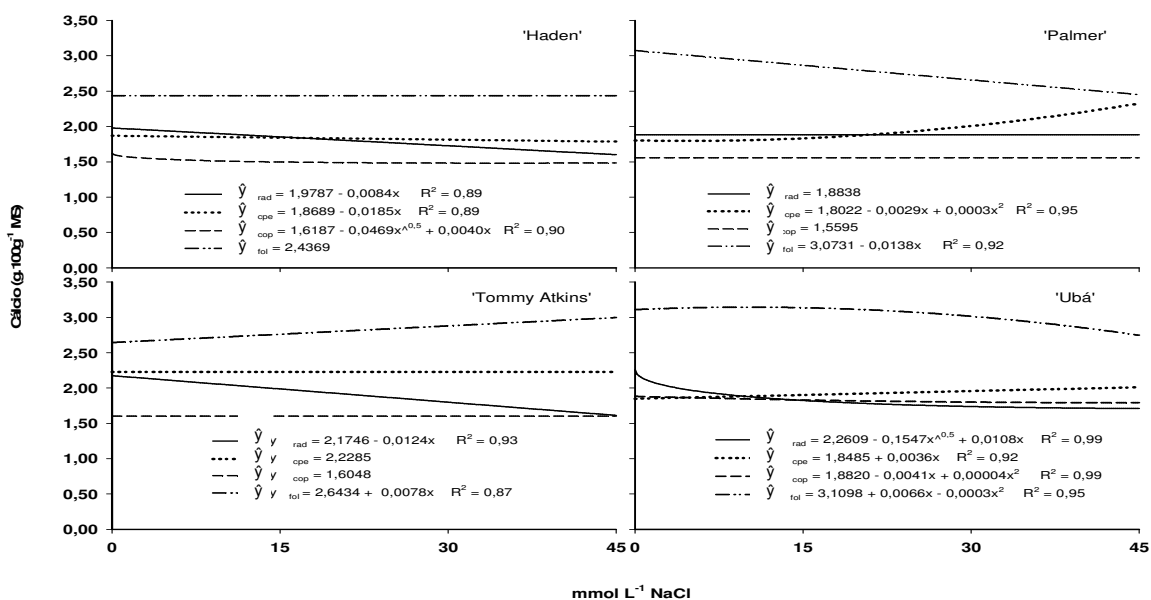
Nos tecidos do caule correspondente ao cultivar copa, os valores dos teores de cálcio não apresentaram ajuste significativo nos cultivares 'Palmer' e 'Tommy Atkins', ao passo que em 'Haden' e 'Ubá' o decréscimo no teor de cálcio neste órgão foi estimado em 8,34 e 5,50% respectivamente, quando estas plantas foram submetidas a 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

Decréscimo do teor de cálcio no tecido do caule correspondente ao portaenxerto foi observado apenas na combinação com 'Haden' (44,54%). As combinações com 'Palmer' e 'Ubá', inversamente ao que ocorreu em 'Haden', apresentaram aumento no teor de cálcio (26,47 e 8,76% respectivamente) quando cultivadas em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Os valores para a combinação com 'Tommy Atkins' não apresentaram ajuste significativo.

Mirisola Filho (2003) avaliando o teor de cálcio no caule de seedlings da maioria dos portaenxertos de mangueira submetidos a estresse salino, em condições de substrato de areia, não observou diferenças significativas. Apenas 'Soares Gouveia' apresentou declínio, ao passo que 'Extrema' aumentou o teor de cálcio no caule.

Observa-se ainda na Figura 18 que o teor de cálcio nas raízes foi influenciado pela salinidade. O cultivar 'Ubá' foi a que apresentou maior decréscimo no teor de cálcio radicular. Constatou-se para este cultivar o decréscimo de 19,33% quando submetido a 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Já os cultivares

'Haden' e 'Tommy Atkins' foram mais tolerantes nesta concentração, apresentando decréscimo de 6,36 e 8,55% respectivamente.



**Figura 18** – Teor de cálcio (g.100g<sup>-1</sup> MS) nas raízes (rad), caule do portaenxerto (cpe), caule do cultivar copa (cop) e folhas (fol) dos cultivares de mangueiras 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

No entanto, em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl o decréscimo do teor de cálcio na raiz foi mais pronunciado (19,10% em 'Haden' e 25,66% em 'Tommy Atkins').

As estimativas do teor de cálcio na raiz discordam das obtidas por Mirisola Filho (2003) que observou aumento do teor de cálcio com o aumento da salinidade. No entanto, estão de acordos com as reportadas por Viana et al. (2001) que observaram redução do teor de cálcio na raiz dos portaenxertos de videira 'IAC-313' e 'IAC-766'.

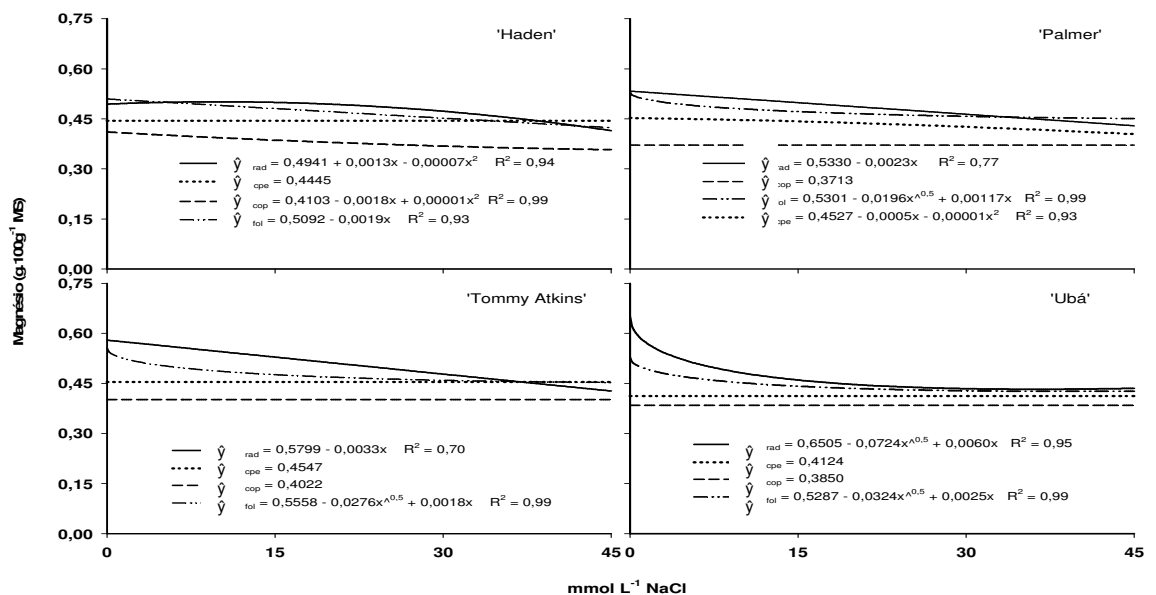
Segundo Hasegawa et al. (2000) o aumento da salinidade reduz a concentração de cálcio na planta. O influxo deste elemento pelas raízes é reduzido porque o excesso de sódio inibe o movimento radial de cálcio da solução externa para o xilema das raízes, bem como influencia negativamente a troca de cátions nos sítios do apoplasto.

Ainda de acordo com Gerard (1971) e Bernstein (1975) incrementos nas concentrações de sais na zona radicular também incrementam os

requerimentos por  $\text{Ca}^{+2}$  pela planta. Ao mesmo tempo, a absorção de  $\text{Ca}^{+2}$  do substrato pode ser reduzida por causa das interações iônicas, precipitação e aumento na força iônica. Estes fatores reduzem a atividade do  $\text{Ca}^{+2}$  na solução e conseqüentemente a sua disponibilidade para a planta (Suarez & Grieve, 1988).

#### 4.3.5 – Magnésio

Os teores de magnésio nas folhas e nas raízes foram reduzidos em função do aumento na concentração de NaCl em todas as combinações copa-portaenxerto analisados. No entanto, os valores dos teores de magnésio para o tecido do caule correspondente ao portaenxerto, exceto na combinação com 'Palmer', que apresentou pequeno decréscimo no teor de magnésio, não apresentaram ajuste significativo. O mesmo ocorreu no tecido do caule correspondente ao cultivar copa, exceto no cultivar 'Haden' que apresentou decréscimo do teor de magnésio em função do aumento das concentrações de NaCl (Figura 19).



**Figura 19** – Teor de magnésio ( $\text{g.100g}^{-1}$  MS) nas raízes (rad), caule do portaenxerto (cpe), caule do cultivar copa (cop) e folhas (fol) dos cultivares de mangueiras 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

O teor de magnésio foliar decresceu logo a partir da concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Nesta concentração, quando comparado com os das plantas controle, o decréscimo no teor de magnésio foliar foi estimado em 5,59; 11,00, 14,37; e 16,64% nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente. Na mesma sequência anterior, o decréscimo foi de 16,80; 14,87; 18,74; e 19,83% quando as plantas foram submetidas a 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

Estes resultados seguiram a mesma tendência dos reportados por Zuazo et al. (2004) que observaram em mangueira cv. 'Osteen' decréscimo do teor de magnésio foliar em função do aumento da salinidade.

No tecido do caule correspondente ao cultivar copa, apenas a combinação 'Haden' apresentou decréscimo de 14,80% no teor de magnésio. Já no tecido do caule correspondente ao portaenxerto, somente a combinação 'Palmer' apresentou decréscimo do teor de magnésio em 9,44%.

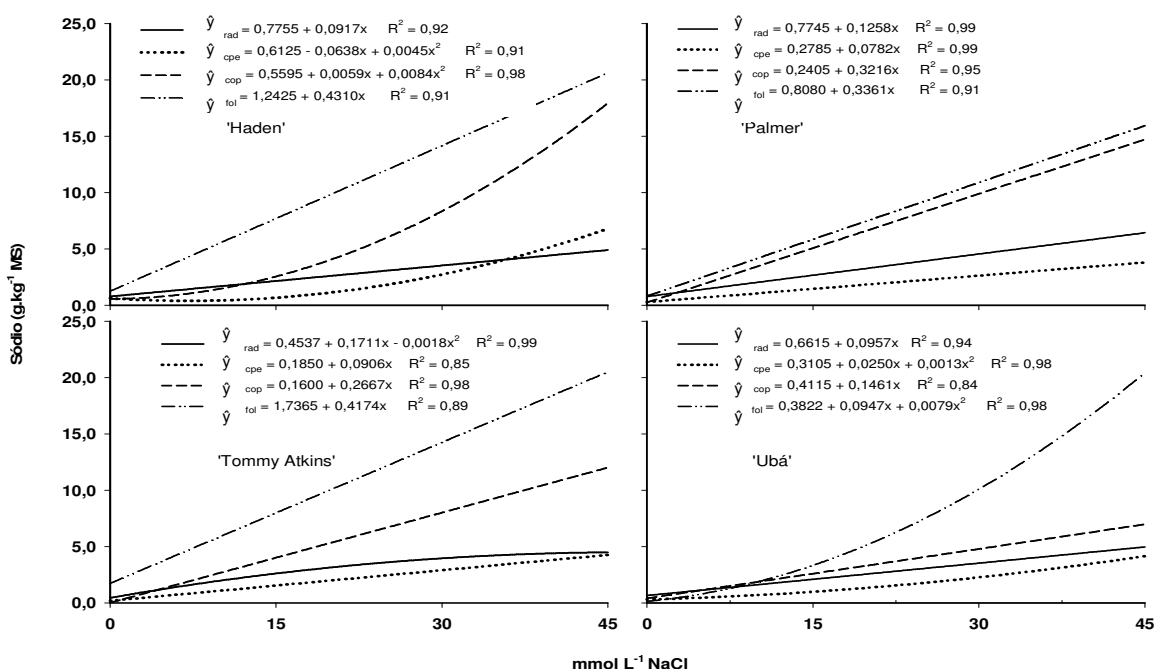
Os maiores teores de magnésio nos tecidos do caule correspondente caule do portaenxerto, em relação ao tecido do caule correspondente ao caule da copa, independentemente da concentração de NaCl, estão de acordo com os resultados obtidos por Zuazo et al. (2004) comparando o teor de magnésio no caule dos portaenxertos de mangueira 'Gomera 1' e 'Gomera 3' em relação ao teor encontrado no tecido do caule correspondente ao cv. 'Osteen'.

O teor de magnésio radicular apresentou decréscimo de 29,27% no cultivar 'Ubá' cultivados em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Já nos cultivares 'Haden', 'Palmer', e 'Tommy Atkins', o decréscimo nesta concentração de NaCl foi menor (0,00; 6,47; e 8,53%, respectivamente). No entanto, quando as plantas foram submetidas a maior concentração de NaCl (45 mmol L<sup>-1</sup>), o decréscimo do teor de magnésio nas raízes foi mais pronunciado (16,85% em 'Haden', 19,42% em 'Palmer', 25,60% em 'Tommy Atkins' e 33,15% em 'Ubá').

Estes resultados seguiram a tendência dos obtidos por Zuazo et. al., (2004) analisando o teor de magnésio em raízes de portaenxertos de mangueira submetidos a estresse salino.

### 4.3.6 – Teores de Sódio

O incremento nos teores de sódio nas partes da planta analisadas ocorreu com os aumentos nas concentrações de NaCl em que as plantas foram submetidas (Figura 20). Em relação à distribuição do sódio nos diferentes órgãos da planta, observa-se na Figura 20 que o sódio foi translocado principalmente para as folhas, seguida do caule da copa que se apresentou como o segundo órgão da planta com a maior concentração de sódio. A translocação do sódio para folha e a constatação deste ser o principal órgão da planta a acumular sódio foi também reportado por Mirisola Filho (2003).



**Figura 20** – Teor de sódio (g.kg<sup>-1</sup> MS) nas raízes (rad), caule do portaenxerto (cpe), caule do cultivar copa (cop) e folhas (fol) dos cultivares de mangueiras 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Os teores de sódio foliares foram estimados em 20,6; 15,9; 20,5; e 20,4 g.kg<sup>-1</sup> MS nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente, quando cultivados com 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl adicionados a solução nutritiva.

Analisando ainda a distribuição de sódio na planta, verifica-se que o caule do portaenxerto foi a parte da planta com menores teores de sódio. Já o sistema radicular, por sua vez, apresentou concentração intermediária de sódio, porém bem abaixo dos valores estimados para o caule da copa e a folha.

Na parte do caule que corresponde ao cultivar copa, o teor de sódio também foi elevado. Observa-se, na Figura 20, que os teores de sódio nesta parte da planta alcançaram valores de 17,9; 14,7; 12,1; e 6,98 g.kg<sup>-1</sup> MS em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl e 0,56; 0,24; 0,16; e 0,41 g.kg<sup>-1</sup>MS em 0 mmol L<sup>-1</sup> NaCl (controle) nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá'.

Por outro lado, o mesmo não se verificou nos tecidos da parte do caule correspondente ao portaenxerto 'Imbú'. O teor de sódio no caule do portaenxerto foi significativamente menor em relação a outros órgãos da planta.

O teor de sódio no caule do portaenxerto 'Imbú' foi estimado em 6,80; 3,80; 4,26; e 4,15 g.kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente quando enxertados com os cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' cultivados em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

No sistema radicular, o teor de sódio apresentou pouca variação nos cultivares analisados, quando comparado com o teor crescente que se observou nas folhas e no caule da copa em função das concentrações de NaCl (Figura 20).

Os teores de sódio nas raízes foram estimados em 4,90; 6,43; 4,50; e 4,97 g.kg<sup>-1</sup> MS respectivamente nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' cultivados em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Nesta mesma ordem citada anteriormente, os teores de sódio nas raízes foram estimados em 2,15; 2,66; 2,61; e 2,09 g.kg<sup>-1</sup> MS quando as plantas foram cultivadas em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

Segundo Munns (2002), o controle do transporte de íons para a parte aérea da planta, por meio do seu acúmulo nas raízes, tem sido proposto como uma característica de tolerância à salinidade. Neste trabalho não se verificou o acúmulo de sódio nas raízes (Figura 20), indicando, segundo a proposta de Munns (2002), que a mangueira não é uma espécie tolerante a estresse salino. No entanto, é necessário obter mais informações em culturas perenes, diferentemente do que ocorre em culturas de ciclo curto, para verificar se a



acumulação de sais nas raízes atua como um mecanismo eficiente de tolerância à salinidade.

O maior incremento do teor de sódio nas folhas e caule dos cultivares copa em relação aos demais órgãos da planta pode está associado à saturação do mecanismo de retenção de sódio nas raízes quando expostas a alta concentração de sais. Essa hipótese é baseada na menor diferença entre os teores de sais nas folhas e os demais órgãos da planta, quando os cultivares foram submetidos a menores concentrações de sais.

Em halófitas (espécies tolerantes) a tolerância a salinidade é alcançada pelo controle na absorção e compartimentalização de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$  e a síntese de solutos orgânicos, mesmo quando as glândulas excretoras estão presentes. Embora exista evidência que diferentes espécies podem utilizar diferentes transportadores na acumulação de  $\text{Na}^+$ , em geral é pouco conhecido as proteínas e as rotas regulatórias envolvidas.

No entanto, Munns (2002) propõe que os mecanismos para tolerância a salinidade são de dois tipos principais: aqueles que minimizam a entrada de sal na planta e aqueles que minimizam a concentração de sal no citoplasma. As plantas halófitas têm ambos os tipos de mecanismos e excluem bem a absorção de sal e compartimentalizam efetivamente nos vacúolos o sal que é inevitavelmente absorvido. Isto lhes permite crescer por um longo período de tempo em solos salinos. Por outro lado, algumas glicófitas também excluem bem o sal, mas são incapazes de compartimentalizar o sal residual absorvido como as halófitas fazem de forma eficiente. Finalmente, muitas glicófitas têm uma pobre habilidade para excluir sal e elas concentram o sal em níveis tóxicos nas folhas.

A nível celular e molecular, vários estudos propõe ainda que os mecanismos de tolerância a salinidade envolve a atividade das  $\text{H}^+$ -ATPases na membrana plasmática e no tonoplasto, bem como as  $\text{H}^+$ -PPiase no tonoplasto, que fornecem a força proto-motriz na transmembrana usada por vários transportadores de  $\text{Na}^+$  presentes na membrana plasmática (Blumwald et al. 2000; Flowers & Colmer, 2008),.

Sob condições fisiológicas típicas, as plantas mantêm uma alta taxa  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  no citosol com relativamente alta concentração de  $\text{K}^+$  (100-200 mM) e baixa concentração de  $\text{Na}^+$  (1-10 mM) (Binzel et al., 1988). Dado a diferença do

potencial elétrico negativo de membrana (Higinbotham,1973) uma elevação na concentração extracelular de  $\text{Na}^+$  irá estabelecer um alto gradiente de potencial eletroquímico pelo  $\text{Na}^+$  que irá favorecer o transporte passivo de sódio do ambiente para o citosol.

Embora os mecanismos para o influxo de  $\text{Na}^+$  em plantas pela membrana plasmática ainda não seja bem estabelecido, evidências mostram que o íon  $\text{Na}^+$  pode ser transportado para a célula através de transportadores de  $\text{K}^+$ . Células vegetais utilizam transportadores de baixa e alta afinidade para absorção de  $\text{K}^+$  do meio extracelular. Transportadores de baixa afinidade (não-saturante na concentração fisiológica de  $\text{K}^+$  na solução externa) tais como AKT1 são canais retificadores que ativam o influxo de  $\text{K}^+$  na membrana plasmática (Blumwald et al. 2000).

Esses transportadores mostram uma alta taxa de seletividade  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  nas concentrações fisiológicas de  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  externa. No entanto, eles podem mediar significativa absorção de  $\text{Na}^+$  com um incremento nas concentrações externas de  $\text{Na}^+$  (Blumwald et al. 2000; Flowers & Colmer, 2008).

#### **4.3.7 – Relação Sódio/Potássio ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$ )**

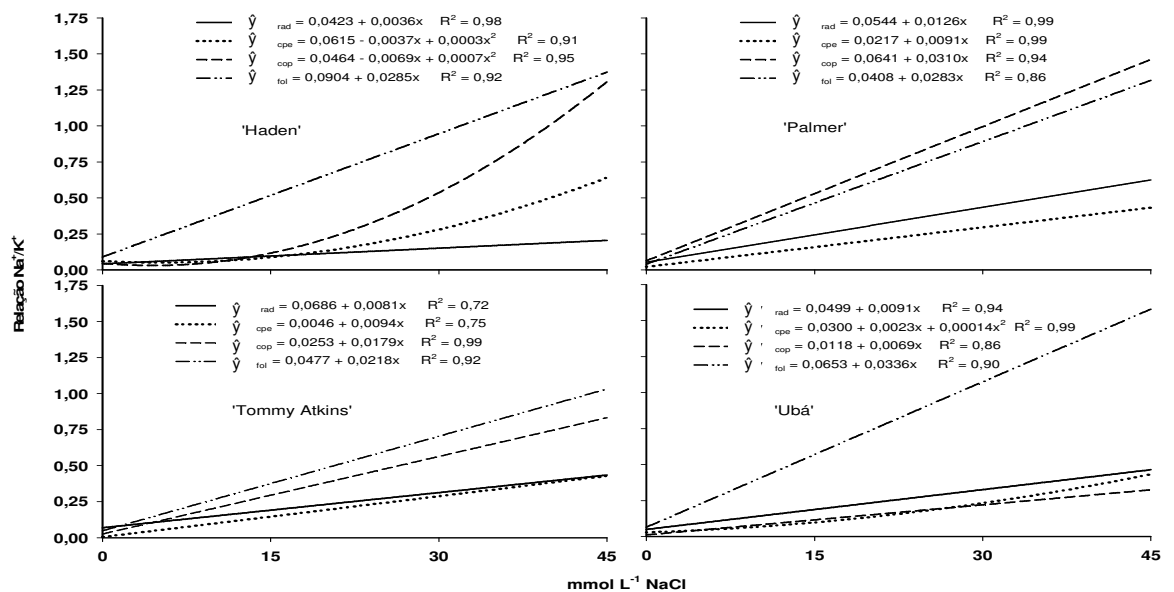
Em todos os órgãos da planta avaliados, a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  foi influenciada pelas concentrações de NaCl (Figura 21). A relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nas raízes, no caule do portaenxerto, no caule da copa e nas folhas aumentaram em função da elevação nas concentrações de NaCl. As folhas apresentaram maior relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . O caule da copa se apresenta em seguida, exceto no cultivar 'Ubá', onde as raízes apresentaram a segunda maior relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ .

As raízes do portaenxerto sob os cultivares 'Palmer' e 'Ubá' apresentaram relações  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  maiores que nos tecidos do caule correspondente ao portaenxerto. Já no cultivar 'Tommy Atkins' esta relação foi semelhante nos dois órgãos, ao passo que em 'Haden' a relação a partir da concentração de  $30 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl apresentou-se maior no caule do portaenxerto em relação à raiz.

A relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nos tecidos do caule correspondente a copa e nas folhas do cultivar 'Tommy Atkins' foi menor quando comparada com os demais cultivares.

Nas folhas, a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  foi estimada em 0,52; 0,47; 0,37; e 0,57 respectivamente nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' quando submetidos à concentração de  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl. Nas plantas cultivadas em  $45 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl esta relação aumentou para 1,37; 1,31; 1,03; e 1,58 nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente.

Nos tecidos do caule correspondente ao cultivar copa, a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  foi mais elevada comparativamente à relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  na raiz e tecidos do caule correspondente ao portaenxerto. Observa-se na Figura 21 que a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  estimada para tecidos do caule correspondente ao cultivar copa nos cultivares 'Haden', 'Palmer' e 'Tommy Atkins' quando submetidos à concentração de  $45 \text{ mmol L}^{-1}$  foi próxima à relação observada na folha, apresentando valores de 1,15; 1,46; e 0,83, respectivamente. Já 'Ubá' apresentou relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  de 0,32 no caule da copa nesta concentração. Este valor é bem menor que a relação apresentada nas folhas deste cultivar.



**Figura 21** – Relação sódio/potássio ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ) nas raízes (rad), caule do portaenxerto (cpe), caule do cultivar copa (cop) e folhas (fol) dos cultivares de mangueiras 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Nos tecidos correspondentes ao caule do portaenxerto, os cultivares não apresentaram diferenças marcantes na relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . Todos apresentaram relação entre 0,43 e 0,50 na concentração de  $45 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl.

No sistema radicular, a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  foi menor em 'Haden' (0,20) e maior em 'Palmer' (0,62), ao passo que 'Tommy Atkins' e 'Ubá' apresentaram relação intermediária (0,43 e 0,46, respectivamente), quando submetidos a concentração de  $45 \text{ mmol L}^{-1}$ . Na concentração de  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl os valores foram estimados em 0,10; 0,24, 0,19; e 0,19 nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Mirisola Filho (2003) em portaenxertos de mangueira; Alvarez Pizarro (2006) e Morais et al. (2007) em clones de cajueiro anão precoce. Estes autores observaram aumento da relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  em todos os órgãos da planta em função do aumento da concentração de NaCl no substrato.

Chartzoulakis et al. (2002) estudando a tolerância de seis cultivares de oliveira a estresse salino observaram aumento na relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  com o aumento da concentração de NaCl.

Segundo Hasegawa et al. (2000), Blumwald et al. (2000) e Flowers (2004) a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nos diferentes órgãos da planta é uma característica importante para caracterização da tolerância de plantas ao estresse salino, uma vez que esta relação indica o grau de seletividade da espécie na absorção e compartimentalização desses íons em seus tecidos.

Segundo Zhu (2003) as células vegetais empregam o transporte ativo primário, mediado pela  $\text{H}^+$ -ATPases, e o transporte secundário, mediado pelos canais e co-transportadores, para manter altas concentrações de  $\text{K}^+$  e baixas concentrações de  $\text{Na}^+$  no citosol. A homeostase intracelular de  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  é importante para a atividade de muitas enzimas citosólicas e para manutenção do potencial de membrana e um potencial osmótico apropriado para regulação do crescimento celular.

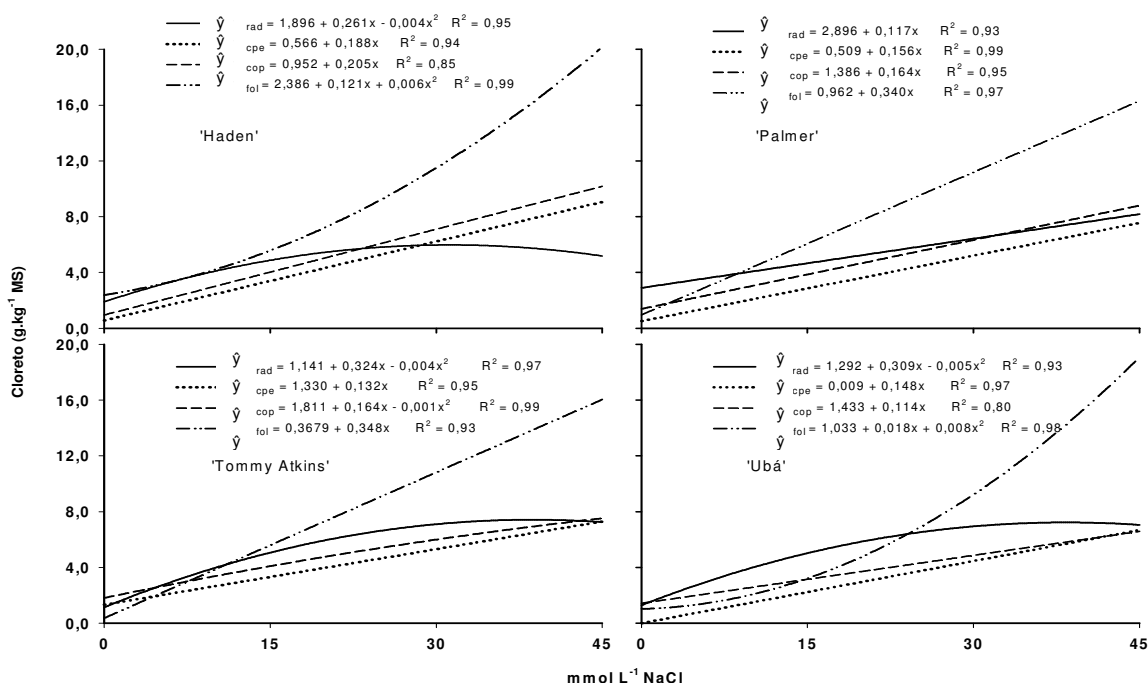
Mediante a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ , que é considerada como nível máximo de tolerância em plantas glicófitas a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  de 0,60 (Hasegawa et al., 2000), observa-se na Figura 21 que o cultivar 'Tommy Atkins' apresentou uma moderada tolerância ao estresse salino.

### 4.3.8 – Teores de Cloreto

Os teores de cloreto nos órgãos da planta foram incrementados à medida que aumentou a concentração de NaCl na solução nutritiva. Da mesma forma que o sódio, a maior concentração de cloreto ocorreu predominantemente nas folhas (Figura 22).

No entanto, diferentemente do que ocorreu com a distribuição de sódio, o sistema radicular foi o segundo órgão a apresentar maior teor de cloreto, com exceção do cultivar ‘Haden’ a partir da concentração de 30 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

Analisando ainda a Figura 22, verifica-se que o caule do portaenxerto apresentou menor concentração de cloreto que a parte do caule da copa em todas as concentrações de NaCl em que as plantas foram submetidas. Este fato indica que ocorre uma ascensão contínua do íon para a parte aérea em função do fluxo transpiratório da planta, sendo o portaenxerto incapaz nestas combinações estudadas de evitar a translocação do Cl<sup>-</sup> para a parte aérea da planta.



**Figura 22** – Teor de cloreto (g.kg<sup>-1</sup> MS) nas raízes (rad), caule do portaenxerto (cpe), caule do cultivar copa (cop) e folhas (fol) dos cultivares de mangueiras ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Os teores de cloreto nas folhas foram estimados em 19,98; 16,26; 16,03; e 18,04 g.kg<sup>-1</sup> MS nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' quando cultivados em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Na mesma seqüência anterior, os teores de cloreto foliar foram 5,55; 6,06; 5,58; e 3,10 g.kg<sup>-1</sup> MS, quando estas plantas foram submetidas a 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Verifica-se diante destes resultados, que o teor de cloreto na folha foi, em média, quatro vezes maior que na raiz, três vezes maior que no caule portaenxerto e duas vezes maior que no caule da copa.

O caule do cultivar copa apresentou teor de cloreto (g.kg<sup>-1</sup> MS) estimado em 10,17 ('Haden'); 8,76 ('Palmer'); 7,16 ('Tommy Atkins'); e 6,56 ('Ubá') na maior concentração de NaCl (45 mmol L<sup>-1</sup>).

Nas raízes, as diferenças dos teores de cloreto entre as concentrações de 15 e 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl foram de aproximadamente 0,63; 3,51; 2,52; e 2,82 g.kg<sup>-1</sup> MS nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá', respectivamente.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Schmutz & Lüdders (1999), Mirisola Filho (2003) em mangueira; Alvarez Pizarro (2006), Morais et al. (2007) em cajueiro. Estes autores observaram aumento nos teores de cloreto em todos os órgãos da planta em função do aumento da concentração de NaCl no substrato.

Segundo Munns & Tester (2008), para muitas espécies, o Na<sup>+</sup> chega a alcançar uma concentração tóxica antes do Cl<sup>-</sup>, e muitos estudos tem concentrado sobre a exclusão Na<sup>+</sup> e o controle do transporte de Na<sup>+</sup> dentro da planta. No entanto em algumas espécies, tais como soja, citrus e videira, o Cl<sup>-</sup> é considerado o íon mais tóxico (Läuchli, 1984; Storey & Walker, 1999).

A evidência para isto é a associação entre diferenças genéticas na taxa de acumulação de Cl<sup>-</sup> nas folhas e a tolerância de planta a salinidade. Estas diferenças podem surgir porque o sequestro de Na<sup>+</sup> é mais eficaz nas raízes e caules de lenhosas, chegando menos às folhas, e K<sup>+</sup> tornando-se o cátion principal. Assim Cl<sup>-</sup>, que tem a absorção facilitada pela membrana, torna-se o componente tóxico mais significativa da solução salina (Munns & Tester, 2008).

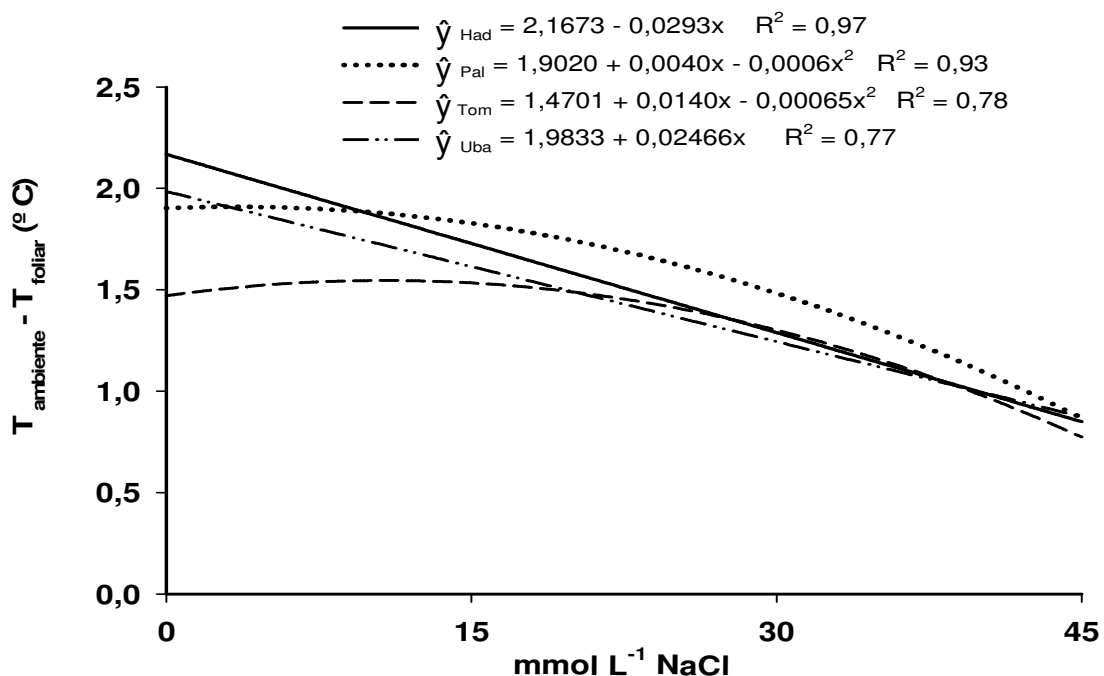
Garthwaite et al. (2005) observaram que a tolerância ao estresse salino em espécies selvagens de *Hordeum* está associado com a restrição de translocação de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> para a parte aérea da planta.

## 4.4 – Características Fisiológicas

### 4.4.1 – Temperatura na superfície foliar

#### 4.4.1 1 – Diferença entre a temperatura ambiente e da superfície foliar

As diferenças de temperatura ( $T_{\text{amb}} - T_{\text{foliar}}$ ) decresceram com o aumento das concentrações salinas na solução nutritiva (Figura 23). Em relação às plantas controle, no cultivar 'Haden', as estimativas de decréscimo na diferença entre a temperatura ambiente e foliar ( $T_{\text{amb}} - T_{\text{foliar}}$ ) foram de 20,26; 40,53; e 60,79% para as concentrações de 15, 30 e 45  $\text{mmol L}^{-1}$  NaCl. No cultivar 'Palmer' de 3,96; 22,09; e 54,42%. Em 'Tommy Atkins' de 0,00; 11,20; 46,64% e finalmente em 'Ubá' foi observada uma estimativa de 18,66; 37,31; e 55,97% nas concentrações de 15, 30 e 45  $\text{mmol L}^{-1}$  NaCl, respectivamente, para todos os cultivares.



**Figura 23** – Diferenças de temperatura (ambiente – foliar) nas folhas dos cultivares de mangueiras 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Os decréscimos nas diferenças de temperatura ( $T_{\text{amb}} - T_{\text{foliar}}$ ) observados neste trabalho pode estar associado ao efeito do estresse salino sobre a redução da condutância estomática (Figura 25) quando as plantas foram cultivadas em solução nutritiva com baixo potencial osmótico, uma vez que o fechamento estomático restringe a saída de água da folha, e conseqüentemente a dissipação de calor através da transpiração.

Pinto (2006) observou menores diferenças de temperatura ( $T_{\text{amb}} - T_{\text{foliar}}$ ) na cultura do amendoim, mamona e gergelim quando submetidas a ciclos de deficiência hídrica. As menores diferenças de temperatura ( $T_{\text{amb}} - T_{\text{foliar}}$ ) foram associadas ao fechamento estomático quando estas plantas foram submetidas a estresse hídrico.

Para a planta fixar carbono, é inevitável a perda de água para atmosfera. Contudo, esta perda de água para a atmosfera garante a estabilidade térmica da planta, proporcionando a manutenção de sua temperatura adequada aos processos fisiológicos.

A capacidade de a planta manter-se com a temperatura na superfície foliar abaixo da temperatura ambiente é uma característica fisiológica importante, uma vez que este fato pode estar associado ao bom funcionamento do seu aparelho fotossintético. Normalmente, as plantas apresentam menor diferença entre temperatura ambiente e foliar, ou até mesmo temperatura foliar maior que a ambiente quando estão submetidas a condições de estresse (Larcher, 2005).

Nogueira et al. (1998) em amendoim, e Rocha (2001) e Oliveira et al. (2005) em feijão-de-corda, reportam que a elevação da temperatura foliar em resposta ao estresse hídrico pode ser explicada pela redução na perda de calor latente através da transpiração. Távora e Melo (1991) em amendoim sob deficiência hídrica, observaram que os valores da diferença de temperatura entre a atmosfera e a superfície foliar apresentam boa correlação negativa com a resistência estomática.



## 4.4.2 – Trocas gasosas

### 4.4.2 1 – Concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>)

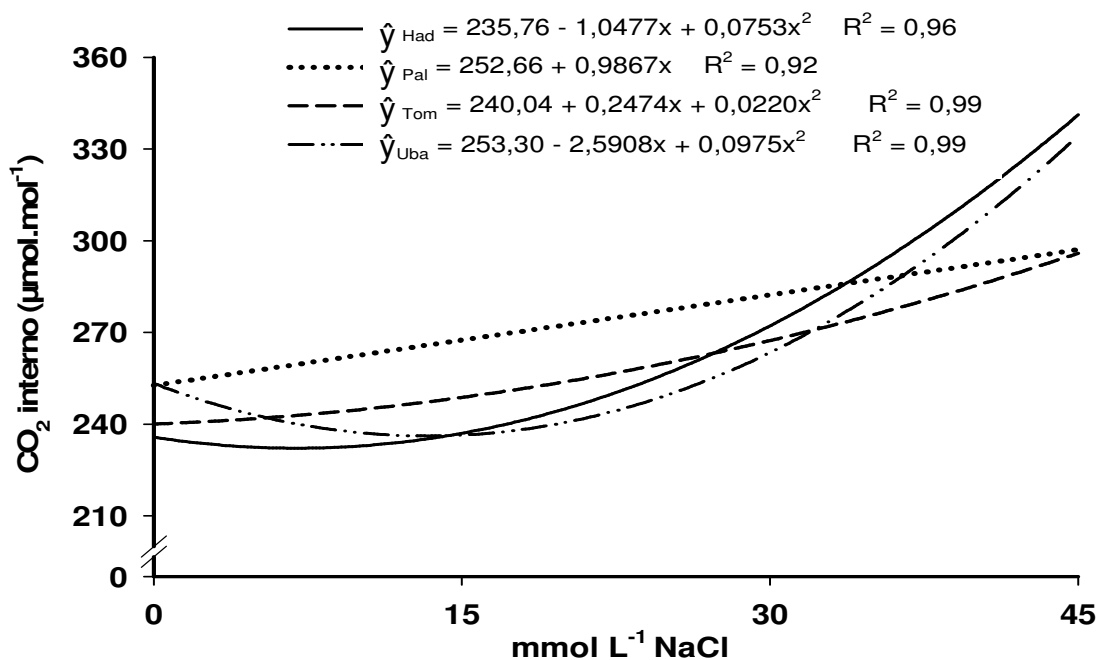
A concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) na câmara substomática das folhas foi incrementada com o aumento da concentração de NaCl (Figura 24). Em todos os cultivares analisados, ocorreu baixa variação da concentração interna de CO<sub>2</sub> nas plantas submetidas a 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Nesta concentração, as estimativas de aumento na concentração interna de CO<sub>2</sub> em relação ao controle foram de 0,52; 5,86; 3,61; e 0,00% nas cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’, respectivamente. Verifica-se que concentração interna de CO<sub>2</sub> nos cultivares analisados foram pouco afetados na concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

No entanto, a elevação dos níveis de salinidade na solução nutritiva para 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl proporcionou aumentos de 44,68; 17,57; 23,20; e 31,92% da concentração interna de CO<sub>2</sub> nos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’, respectivamente.

Segundo Farquhar & Sharkey (1982), o aumento na concentração interna de CO<sub>2</sub> está associado à queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de CO<sub>2</sub>. Parida & Das (2005), afirmam que muitas enzimas que participam do metabolismo do carbono são sensíveis à toxicidade gerada pelo teor dos íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nas folhas.

Entretanto, Alvarez Pizarro (2006) observou que a relação entre as concentrações interna e externa de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>e</sub>) foi pouco afetada pela salinidade em clones de cajueiro submetidos a estresse salino. Observação também constatada por Pinto (2006) analisando as culturas de mamona, gergelim e amendoim submetidas a estresse hídrico.

No entanto, Massai et al. (2004) analisando as trocas gasosas em combinações de enxerto/portaenxerto em plantas de *Prunus*, constataram que a relação entre as pressões parciais internas e externa de CO<sub>2</sub> aumentou em função da concentração e do tempo de exposição aos sais e atribuiu este fato à limitação das reações bioquímicas da fotossíntese proporcionada pelo estresse salino.

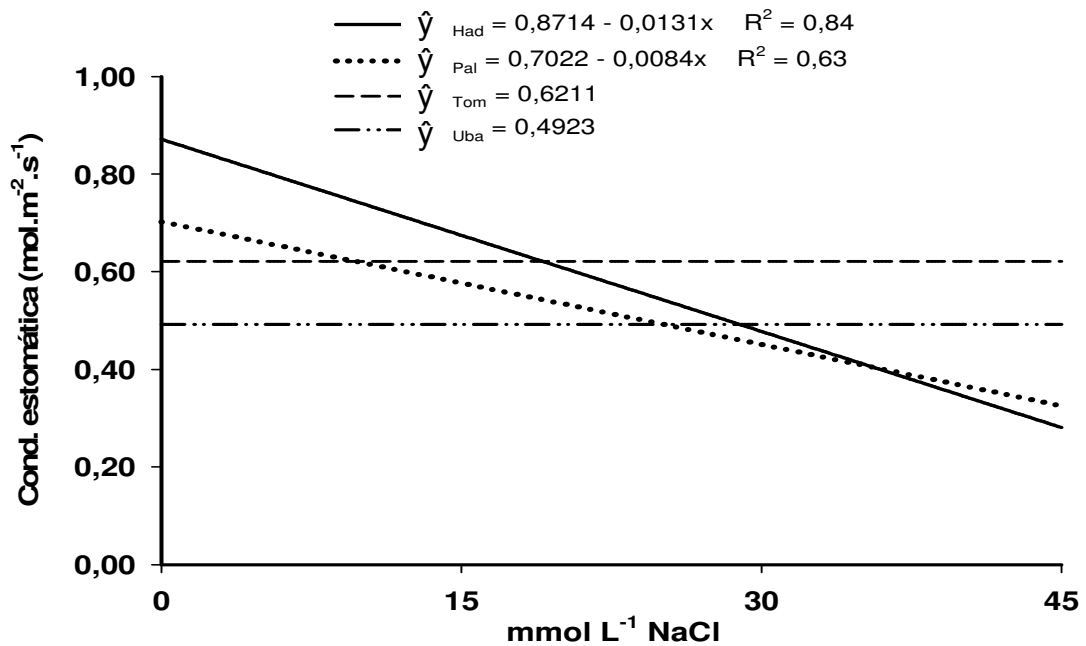


**Figura 24** – Concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*) na cavidade subestomática em cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva submetidos a estresse salino.

#### 4.4.2.2 – Condutância estomática (*g<sub>s</sub>*)

Os cultivares ‘Haden’ e ‘Palmer’ apresentaram decréscimo linear da condutância estomática em função da concentração de NaCl. Já os valores de condutância estomática (*g<sub>s</sub>*) nas folhas dos cultivares ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ não apresentaram modelo ajustado, apesar de ter ocorrido diferenças significativas dos valores de *g<sub>s</sub>* entre as concentrações de NaCl (Figura 25).

Os cultivares ‘Haden’ e ‘Palmer’ apresentaram respectivamente reduções de 22,55% e 17,94% na condutância estomática na menor concentração de NaCl (15 mmol L<sup>-1</sup>), ao passo que na maior concentração (45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) a resistência ao vapor de água foi mais pronunciada, alcançando valores de 67,45% e 53,83%.



**Figura 25** – Condutância estomática ( $g_s$ ) em cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva submetidos a estresse salino.

Reduções na condutância estomática de aproximadamente 30% em condutividade elétrica (CE) de 8 dS.m<sup>-1</sup> e 53% em CE de 16 dS.m<sup>-1</sup> em relação ao controle foram observadas por Alvarez Pizarro (2006) analisando a tolerância ao estresse salino em clones de cajueiro.

Redução da condutância estomática em culturas agrônomicas em função do estresse salino foi reportada por Chartzoulakis et al. (2002), Moradi & Ismail (2007), Abdel-Latif (2008) e Silva et al. (2008a).

Mirisola Filho (2003) observou redução de 42,13% na condutância estomática do cultivar ‘Ubá’ submetido a 80 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Este declínio na condutância estomática também foi constatado por Cruz et al. (2003) em limão ‘Cravo’ submetido a estresse salino.

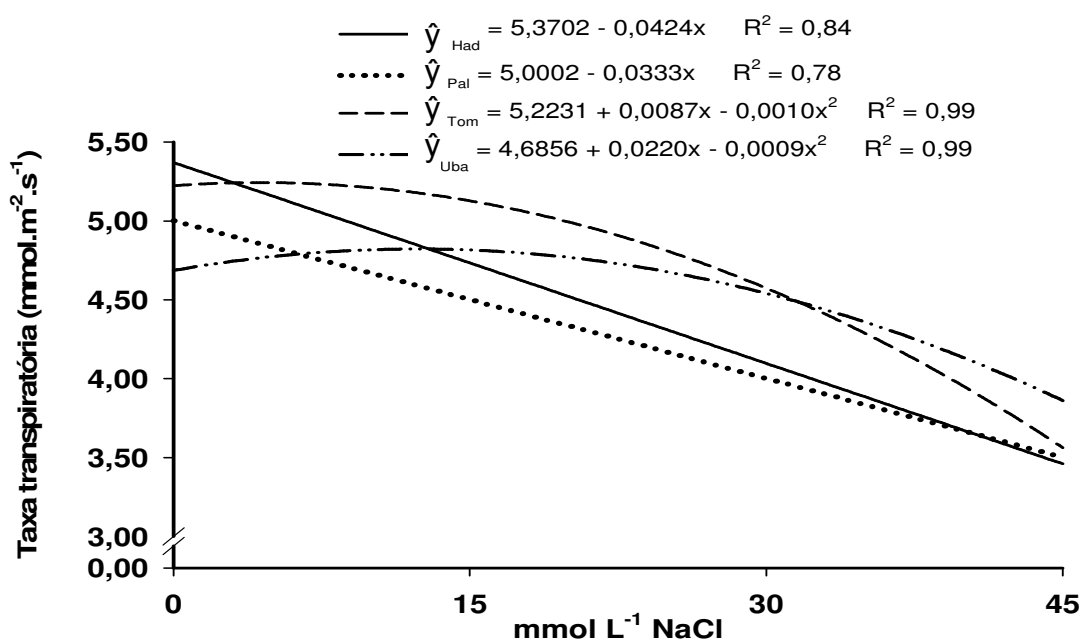
Verifica-se que o estresse salino influenciou negativamente no processo fotossintético dos cultivares de mangueiras avaliados. A influência no fechamento estomático pode estar associada a mecanismos de defesa da planta contra a perda de água, bem como aos mecanismos de ajustamento osmótico em função das condições de estresse hídrico e iônico a qual foi submetida.

#### 4.4.2.3 – Taxa transpiratória (E)

A taxa transpiratória dos cultivares ‘Haden’ e ‘Palmer’ apresentou decréscimo linear em função do aumento das concentrações de NaCl ao passo que os cultivares ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ apresentaram pouco decréscimo na taxa transpiratória em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl (menos de 2,0% em ambos cultivares). (Figura 26).

Os cultivares ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ ainda apresentaram ponto de máxima taxa transpiratória em 4,35 mmol L<sup>-1</sup> NaCl (5,24 mmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) e 12,22 mmol L<sup>-1</sup> NaCl (4,82 mmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) respectivamente, com decréscimos subsequentes nas concentrações mais elevadas.

A menor redução na taxa transpiratória do cultivar ‘Tommy Atkins’ em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl pode ser um indicativo de tolerância em níveis baixos de salinidade.



**Figura 26** – Taxa transpiratória (E) em cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Já para o cultivar ‘Ubá’, em virtude da alta sensibilidade ao estresse salino, já demonstrado em outras características avaliadas (Figuras 3, 6, 14, 20, 22, 33, 37), a menor redução da taxa transpiratória pode indicar um baixo

controle nos mecanismos de fechamento estomático, sendo estes apenas mais eficientes em altas concentrações de sais. Mirisola Filho (2003) constatou decréscimo na taxa transpiratória de 'Ubá' apenas a partir da concentração de 40 mmol L<sup>-1</sup> NaCl (4,05%) em substrato de areia, no entanto, com decréscimo muito acentuado em 80 mmol L<sup>-1</sup> NaCl (63,22%).

Alvarez Pizarro (2006) em clones de cajueiro, Schmutz & Lüdders (1999) em combinações recíprocas de enxertia dos cultivares de mangueira '13/1' e 'Turpentine', Cruz et al. (2003) em limoeiro 'Cravo', Viana et al. (2001) em portaenxertos de videira, observaram redução da taxa transpiratória (E) quando estas espécies foram submetidas a estresse salino.

Segundo Robinson et al. (1997) a redução da taxa transpiratória (E) em curto período de exposição ao estresse salino ocorre devido ao decréscimo no potencial hídrico no sistema radicular. Em períodos longos de exposição, a redução da taxa transpiratória (Figura 26) resulta da alta concentração de sais está associado com a inibição da fotossíntese causado pelo acúmulo de sais no mesófilo e incrementos na concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Figura 24) com redução na condutância estomática (Figura 25).

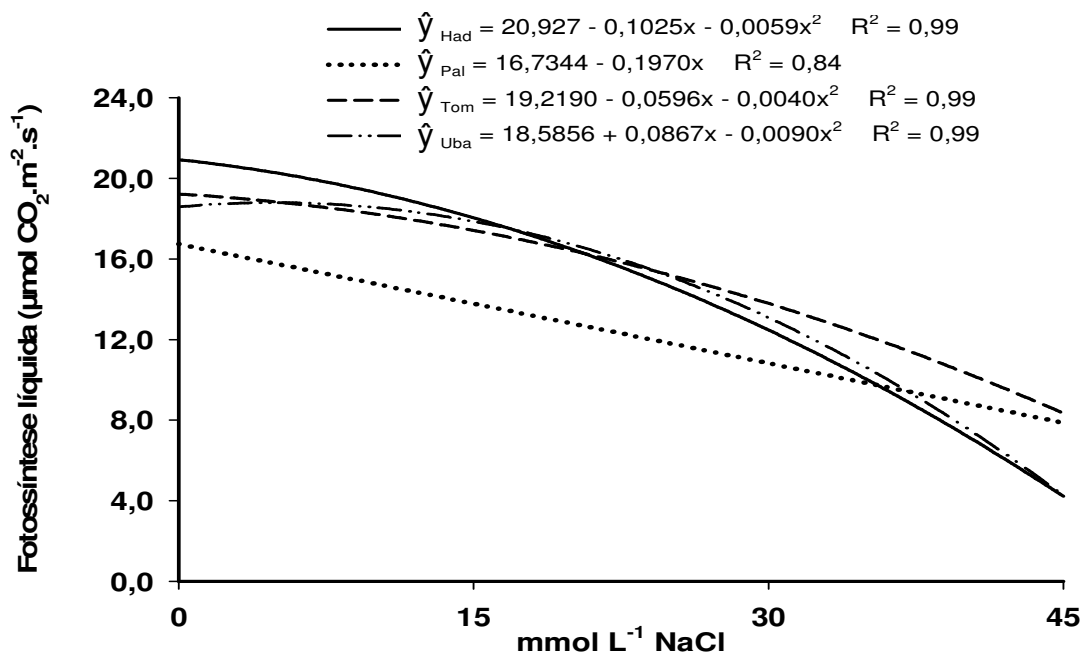
Ainda segundo Robinson et al. (2007) em virtude de apenas as halófitas possuírem células guardas com capacidade de utilizar o Na<sup>+</sup> ao invés de K<sup>+</sup> para alcançar sua regulação normal de turgescência, a regulação na taxa transpiratória apresenta um papel importante no controle da acumulação de íons na parte aérea, uma vez que o transporte deste íons para a parte aérea ocorre via fluxo transpiratório.

#### **4.4.2.4 – Fotossíntese líquida (A)**

Em função da redução da condutância estomática (Figura 25), da taxa transpiratória (Figura 26) e do aumento da concentração interna de CO<sub>2</sub> na cavidade substomática (Figura 24), assim como do teor de íons Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> (Figuras 20 e 22, respectivamente) nos órgãos que abrigam o aparelho fotossintético, a assimilação líquida de carbono foi comprometida em todos os cultivares de mangueira analisados (Figura 27).

A fotossíntese líquida dos cultivares 'Haden', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' apresentaram decréscimos de 13,69; 9,33; e 3,89% respectivamente, no nível mais baixo de salinidade (15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl). Já o cultivar 'Palmer' apresentou

uma redução linear (17,66 e 52,97%, respectivamente nas concentrações de 15 e 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl) na taxa fotossintética com valores médios inferiores a todos os demais cultivares, exceto na concentração de 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, onde os cultivares 'Haden' e 'Ubá' apresentaram os menores valores de fotossíntese líquida.



**Figura 27** – Fotossíntese líquida (A) em cultivares de mangueiras 'Haden' (Had), 'Palmer' (Pal), 'Tommy Atkins' (Tom) e 'Ubá' (Uba) enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

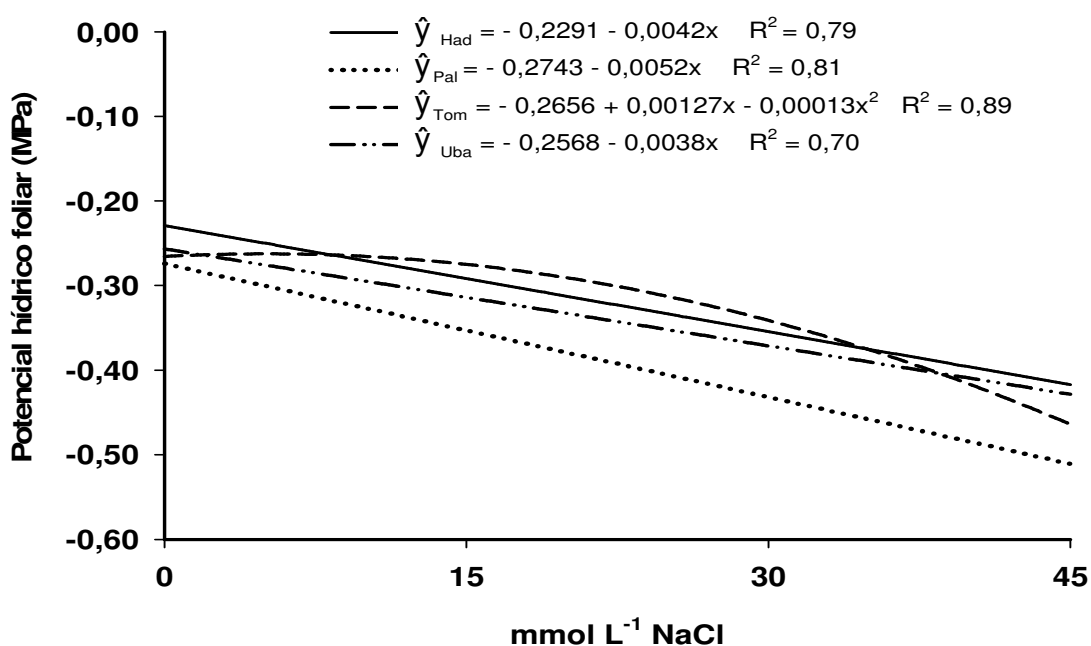
Verifica-se que os cultivares analisados apresentaram baixo decréscimo da fotossíntese líquida na concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. Este fato pode estar associado ao menor déficit hídrico (ajustamento osmótico) ao qual estas plantas foram submetidas, à compartimentalização celular dos íons tóxicos e ao menor teor destes, nos órgãos que abrigam o aparelho fotossintético (Figuras 20, 21 e 22).

Pode-se inferir ainda que a menor interferência na absorção de nutrientes, a menor severidade ou mesmo ausência de toxicidade específica de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> a nível celular e a ausência de toxidez nas folhas (Figura 5) na concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, provavelmente pode ter contribuído para um menor comprometimento do desenvolvimento destas plantas em níveis baixos de salinidade.

#### 4.4.3 – Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ )

Exceto para 'Tommy Atkins', os demais cultivares analisados apresentaram redução linear do potencial hídrico foliar (MPa) com o aumento da concentração de NaCl na solução nutritiva (Figura 28). 'Palmer' apresentou menores valores médios de potencial hídrico foliar (MPa) em todas as concentrações de NaCl, enquanto que 'Tommy Atkins' apresentou menor redução (3,90%) do potencial hídrico foliar na concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, com decréscimos subsequentes mais pronunciados alcançando valores de 78,82% de redução quando submetido a concentração de 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl.

Nos cultivares 'Haden', 'Palmer' e 'Ubá', o decréscimo no potencial hídrico foliar (MPa) foi significativo a partir da menor concentração de NaCl, apresentando valores estimados em 27,5; 28,4; 22,2 %; em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl e 82,5; 85,3; 66,5% em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, respectivamente.



**Figura 28** – Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em cultivares de mangueiras 'Haden' (Had), 'Palmer' (Pal), 'Tommy Atkins' (Tom) e 'Ubá' (Uba) enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

A redução do potencial hídrico foliar pode estar associado à redução do fluxo transpiratório na planta devido ao baixo estado energético da solução

nutritiva quando adicionada de sais (NaCl). O estado de hidratação da folha está relacionado com o processo de abertura e fechamento dos estômatos, de modo que, variações no potencial hídrico (Figura 28) da folha podem resultar no fechamento estomático (Figura 25) e afetar a assimilação do carbono (Figura 27).

#### **4.4.4 – Fluorescência da Clorofila *a***

##### **4.4.4.1 – Estado adaptado ao escuro (EAE)**

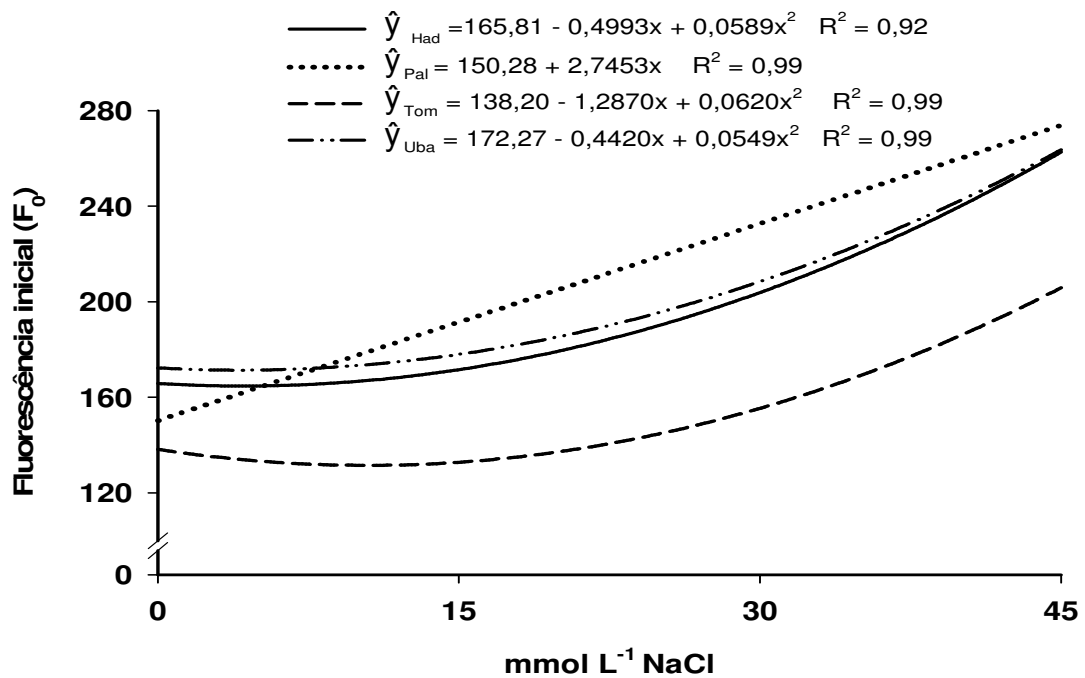
###### **4.4.4.1.1 – Fluorescência inicial ( $F_0$ )**

Os cultivares estudados apresentaram incrementos na fluorescência inicial ( $F_0$ ) a partir da concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. No entanto, até a concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> estes cultivares, exceto 'Palmer', parece ter o aparelho fotossintético pouco afetado pela salinidade, apresentando incremento na fluorescência inicial ( $F_0$ ) de 3,47; 27,40; 0,00; e 3,32%, respectivamente em 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' (Figura 29).

No entanto, quando estas plantas foram submetidas à concentração de 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, os cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' apresentaram incremento da fluorescência inicial ( $F_0$ ) estimada em 58,38; 82,21; 48,94; e 52,99%, respectivamente. Observa-se na Figura 26 que o cultivar 'Tommy Atkins' apresentou uma fluorescência inicial ( $F_0$ ) significativamente inferior aos demais cultivares quando submetido às concentrações maiores de NaCl.

A fluorescência inicial ( $F_0$ ) em mangueiras analisadas por Mirisola Filho (2003) apresentaram comportamento diferenciados entre os portaenxertos. Incremento da fluorescência inicial ( $F_0$ ) em 'Amarelinha' e 'Felipe' e redução em 'Ubá', 'Soares Gouveia' e 'Carlotinha' em função do aumento da concentração de NaCl foram observados. No entanto, na concentração de 20 mmol L<sup>-1</sup> NaCl foi observada pouca variação (em média menos de 4,0%) da fluorescência inicial ( $F_0$ ) em relação às plantas controle.





**Figura 29** – Fluorescência inicial ( $F_0$ ) em cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Segundo Mathis & Paillotin (1981) o parâmetro  $F_0$  representa a emissão de luz pelas moléculas de clorofilas **a** excitadas, antes da energia ser dissipada para o centro de reação do fotossistema II (PSII), sendo definida por Hipkins & Baker (1986) como valor de referência para a determinação das outras variáveis da fluorescência.

Entretanto, a fluorescência inicial ( $F_0$ ) nem sempre é uma constante, o seu valor pode aumentar caso os centros de reação do fotossistema II (PSII) estejam comprometidos, ou se a transferência da energia de excitação da antena para os centros de reação esteja prejudicada (Bolhàr-Nordenkampf et al, 1989). Song et al. (2003) observaram aumentos significativos nos valores de fluorescência inicial ( $F_0$ ) em plantas de *Citrus unshiu*, após ser tratadas com DTT (dithiothreitol) em relação às plantas controle.

O estresse por altas temperaturas é caracterizado por incrementar drasticamente os valores de  $F_0$  (Krause & Weis, 1975; Schreiber & Berry, 1977; Smillie & Nott, 1979; Costa et al., 2002). Desta forma, o incremento na fluorescência inicial ( $F_0$ ) observado nos cultivares de mangueira estudados pode estar associada ao aumento da temperatura foliar (Figura 23) causada

pelo fechamento estomático (Figura 25) e provavelmente a danos no aparato fotossintético, como a inativação parcialmente reversível ou até mesmo irreversível (Figura 6) dos centros de reação do PSII (Yamane et al., 1997), quando estas plantas foram submetidas às concentrações mais elevadas de NaCl.

#### 4.4.4.1.2 – Fluorescência máxima ( $F_m$ )

Os cultivares ‘Palmer’ e ‘Tommy Atkins’ apresentaram maior fluorescência máxima ( $F_m$ ) em todas as concentrações de NaCl, ao passo que ‘Haden’ e ‘Ubá’ apresentaram menores valores médios de  $F_m$  (Figura 30).

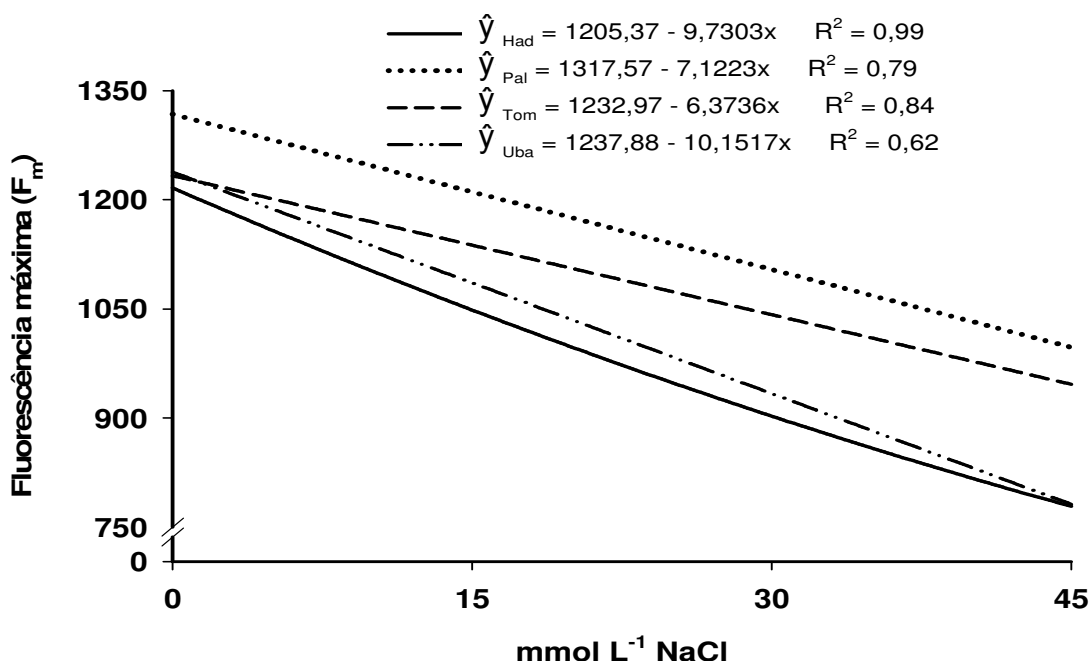
Os decréscimos na fluorescência máxima ( $F_m$ ) foram estimados em 15,43; 9,46; 8,31; e 13,46% quando as mangueiras foram cultivadas em 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl e 36,89; 28,40; 24,94; e 40,39% em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, respectivamente, nos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’. Mirisola Filho (2003) observou redução de 50,10% na fluorescência máxima ( $F_m$ ) de mangueira ‘Ubá’ quando submetida a 80 mmol L<sup>-1</sup> NaCl em substrato de areia.

Os maiores valores médios de fluorescência máxima ( $F_m$ ) observados em ‘Palmer’ podem não estar relacionados com a maior eficiência da captação de energia luminosa e conversão em energia química na etapa bioquímica da fotossíntese, como pode ser observado na eficiência efetiva do fotossistema II (Figura 35) e na taxa de transporte de elétrons (Figura 37) verificada neste cultivar quando submetido a estresse salino.

Segundo Silva et al. (2008b) os maiores valores de  $F_m$  e  $F_v/F_m$  em ‘Palmer’ podem estar associados ao maior número de centros de reação ativos do FSII ( $RC/CS_0$ ) bem como aos maiores teores de clorofila (clorofila total) observados neste cultivar, uma vez que o aumento destas relações não refletiram em um aumento significativo na absorção de energia, indicando baixa capacidade de transferência de energia a partir dos sistemas coletores de luz (antena).

Um tecido fotossintetizante adaptado ao escuro (em média 30 minutos) e que, após este período é submetido a um pulso de luz actínica saturante por 0,5 a 2 segundos, apresentará todos os centros de reação fechados (plastoquinona *a* reduzida). Neste ponto, a dissipação fotoquímica é nula e a

fluorescência atinge o nível máximo (fluorescência máxima) (Krause & Weis, 1991).



**Figura 30** – Fluorescência máxima ( $F_m$ ) em cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Ainda conforme Murata et al. (1966), a área sobre a curva de fluorescência entre fluorescência inicial ( $F_0$ ) e a fluorescência máxima ( $F_m$ ) é proporcional à quantidade dos aceptores de elétrons. Se a transferência dos centros de reação para o pool de plastoquinona é comprometida (transferência de  $Q_a$  para  $Q_b$ ), a área da curva será drasticamente reduzida em função do aumento da fluorescência inicial ( $F_0$ ) e da redução da fluorescência máxima ( $F_m$ ).

Desta forma, verifica-se na Figura 30 que a redução da fluorescência máxima ( $F_m$ ) pode estar associada ao aumento da dissipação não-fotoquímica na forma de calor (ver Figura 36), associada ao ciclo da xantofila (Müller et al., 2001), bem como a comprometimentos nos mecanismos fotossintéticos, como danos na proteína D1 (Demmig-Adams & Adams, 1992) causados provavelmente pelo excesso dos íons  $Na^+$  e  $Cl^-$  (Figuras 20 e 22) presentes nas

folhas destes cultivares. A redução de aceptores de elétrons, como o  $\text{NADP}^+$ , e de requerimentos energéticos como ATP, em função de enzimas sensíveis ao  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  estarem comprometendo a atividade do ciclo de fixação do carbono (Abdel-Latif, 2008) também pode ser uma razão para a taxa de reoxidação da plastoquinona *a* ( $Q_a$ ) estar sendo menor que a taxa de sua redução, fazendo com que o coeficiente de extinção fotoquímico se tornasse nulo ( $F_m$  máxima) em níveis mais baixos de irradiância.

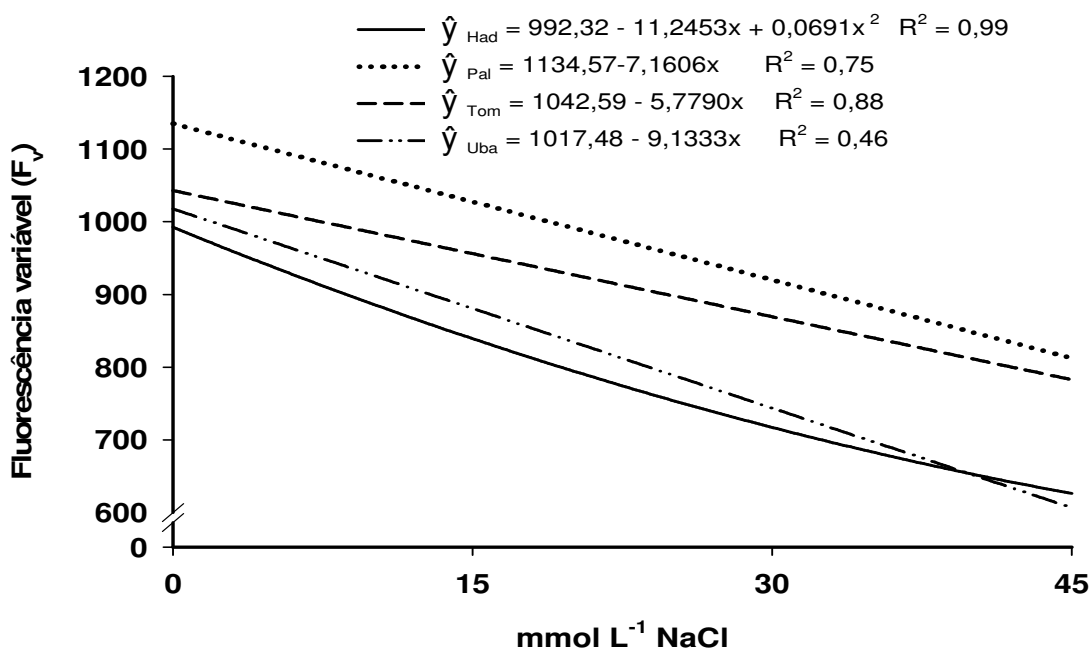
#### 4.4.4.1.3 – Fluorescência variável ( $F_v$ )

A fluorescência variável ( $F_v$ ) foi influenciada negativamente pela salinidade, apresentando decréscimos lineares em todos os cultivares em função das concentrações de NaCl. Os cultivares ‘Palmer’ e ‘Tommy Atkins’ apresentaram maior fluorescência variável ( $F_v$ ) em todas as concentrações de NaCl em relação aos cultivares ‘Haden’ e ‘Ubá’ que apresentaram maiores taxas de decréscimo na fluorescência variável ( $F_v$ ) (Figura 31).

Em relação às plantas controle, as estimativas de decréscimo na fluorescência variável ( $F_v$ ) em  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl foram 15,43; 9,46; 8,31; e 13,46% e, em  $45 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl foram 36,89; 28,40; 24,94; e 40,39% respectivamente, em ambas condições, nos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’.

A fluorescência variável ( $F_v$ ) é um parâmetro da cinética rápida da fluorescência que representa o incremento a partir da fluorescência inicial ( $F_0$ ) até a fluorescência máxima ( $F_m$ ). A razão entre a  $F_m$  (toda plastoquinona *a* ( $Q_a$ ) reduzida) e a  $F_0$  (toda plastoquinona *a* ( $Q_a$ ) oxidada) é aproximadamente 5 a 6 em tecidos fotossintetizantes saudáveis e adaptados no escuro. Entretanto, esta razão pode variar em função de tratamentos fisiológicos que afetam principalmente a fluorescência máxima (Schreiber et al., 1998), ou seja, tornando a dissipação fotoquímica (quenching fotoquímico) nula em níveis mais baixos de irradiância.

Segundo Krause & Weis (1991), a variação na cinética da fluorescência se constitui em complexo processo polifásico que reflete o *pool* de plastoquinona e a taxa de sua reoxidação, a taxa de transporte de elétrons após o fotossistema I (PS I) incluindo o metabolismo do carbono e a taxa de doação de elétrons para os centros de reação do PSII (P680<sup>+</sup>).



**Figura 31** – Fluorescência variável ( $F_v$ ) em cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Verifica-se que o estresse salino afetou tanto a etapa fotoquímica (incremento na  $F_0$  e decréscimo na  $F_m$  (Figuras 29 e 30, respectivamente) quanto a etapa bioquímica da fotossíntese (redução na taxa de fotossíntese líquida, Figura 27) nos cultivares avaliados.

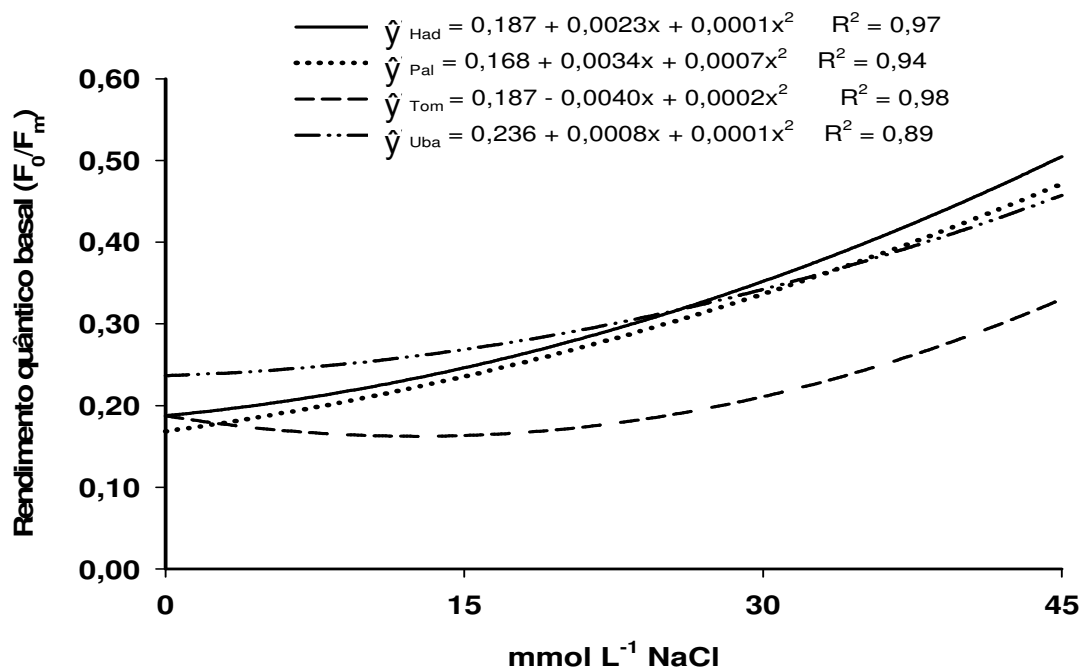
#### 4.4.4.1.4 – Relação $F_0/F_m$

A relação  $F_0/F_m$  foi incrementada em função da elevação das concentrações de NaCl na solução nutritiva (Figura 32).

A maior relação  $F_0/F_m$  indica que a taxa inicial de redução da plastoquinona *a* ( $Q_a$ ) foi superior à taxa de reoxidação pela plastoquinona *b* ( $Q_b$ ) e pela atividade do fotossistema I (PSI) quando as plantas foram submetidas a maiores concentração de NaCl. Verifica-se, desta forma que o cultivar ‘Tommy Atkins’ apresentou melhor relação  $F_0/F_m$  em todas as concentrações de NaCl.

A razão entre a fluorescência inicial ( $F_0$ ), ou seja, toda plastoquinona *a* ( $Q_a$ ) com capacidade de receber elétrons (oxidada) e a fluorescência máxima

( $F_m$ ), ou seja, todos os sítios da plastoquinona  $a$  ( $Q_a$ ) fechados (reduzida) foram afetadas significativamente pelo estresse salino.



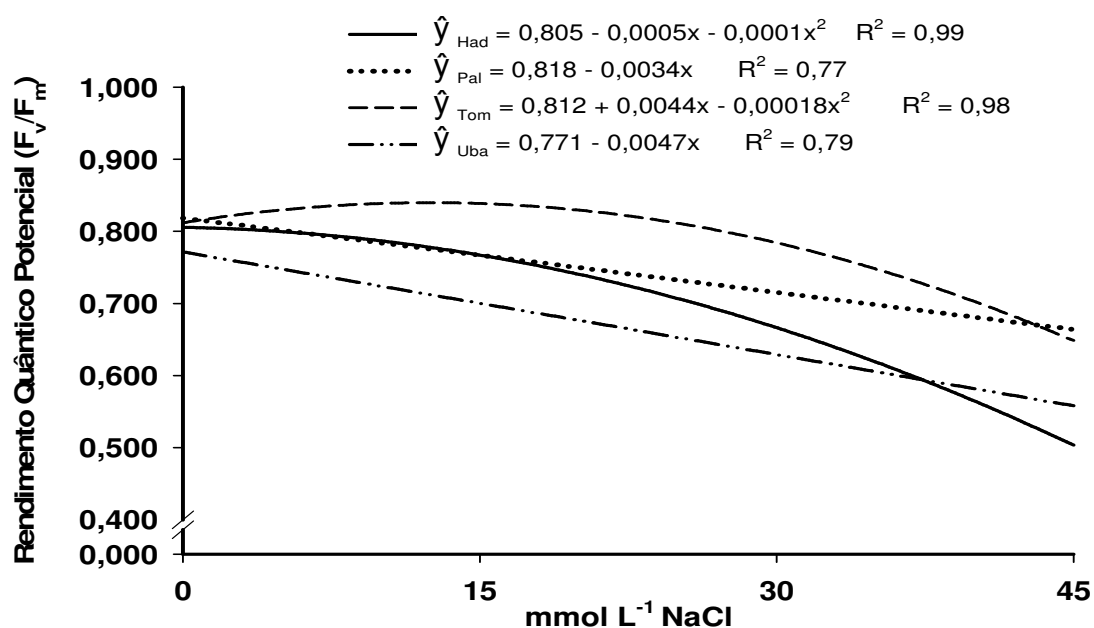
**Figura 32** – Rendimento quântico basal ( $F_0/F_m$ ) em cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Aumento na relação  $F_0/F_m$  foi reportado por Ranjbarfordoei et al., (2006) em *Prunus dulcis* e Zanandrea et al., (2006) em *Phaseolus vulgaris*, com ambas espécies submetidas a estresse salino.

O parâmetro  $F_0/F_m$  indica a produção quântica basal do processo não-fotoquímico no FSII, apresentando como componentes implícitos a produção quântica mínima, no estado adaptado ao escuro (EAE), e a produção quântica de dissipação térmica dentro do FSII em EAE (Roháček & Barták, 1999). Vários autores (Bilger et al., 1987; Horton & Ruban, 1992) preconizam a utilização do aumento desta relação como indicativo de estresse, sugerindo valores normais como padrão, os observados entre 0,14 e 0,20 (Roháček, 2002).

#### 4.4.4.1.5 – Rendimento Quântico Potencial ( $F_v/F_m$ )

O aumento na concentração de NaCl proporcionou o declínio no rendimento quântico potencial ( $F_v/F_m$ ). Ocorreu redução da eficiência da captura da energia luminosa em todos os cultivares avaliados. No entanto, 'Haden' e 'Tommy Atkins' apresentaram menor declínio desta relação quando submetidos a  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl, com declínio subsequente acentuado em 'Haden' nas maiores concentrações de NaCl (Figura 33).



**Figura 33** – Rendimento quântico potencial ( $F_v/F_m$ ) em cultivares de mangueiras 'Haden' (Had), 'Palmer' (Pal), 'Tommy Atkins' (Tom) e 'Ubá' (Uba) enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

As estimativas de redução do rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em relação às plantas controle foram de 27,93; 18,70; 20,51; e 27,42%, respectivamente nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' quando cultivados na maior concentração de NaCl. No entanto, os decréscimos observados em  $15 \text{ mmol L}^{-1}$  NaCl foram estimados em 3,72; 6,23; 0,00; e 9,14% na ordem dos cultivares citados anteriormente, evidenciando desta forma, moderada tolerância do cultivar 'Tommy Atkins' a

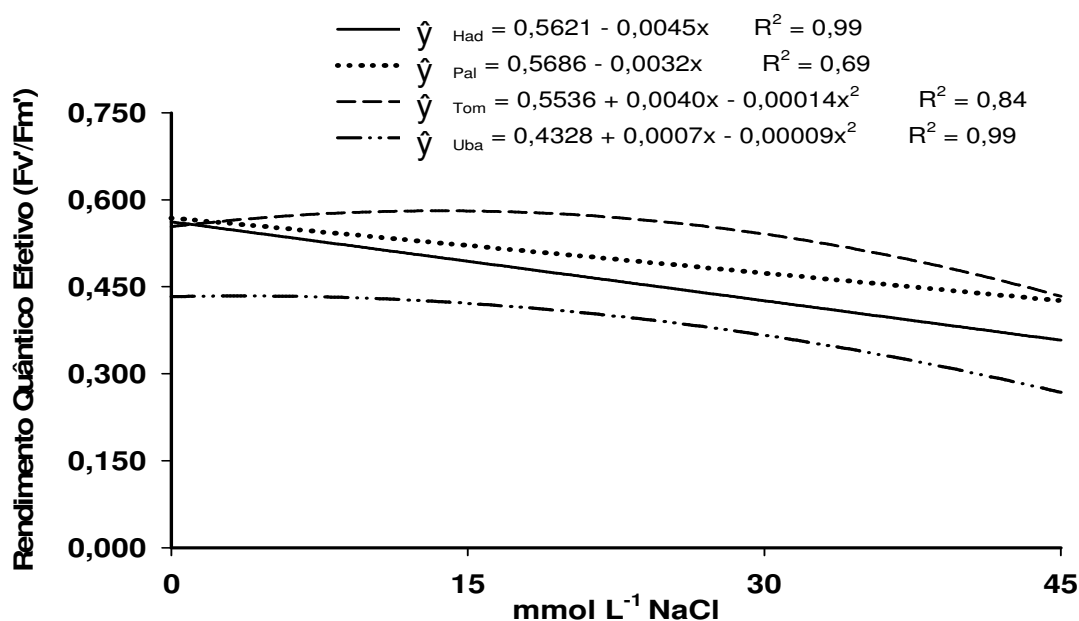
níveis baixos de salinidade. Redução no rendimento quântico potencial ( $F_v/F_m$ ) do fotossistema II foram observados por Mirisola Filho (2003) no cultivar 'Ubá'.

Todas os cultivares na ausência de estresse salino (controle) apresentaram relação  $F_v/F_m$  dentro da faixa estabelecida por Bolhàr-Nordenkampf & Öquist (1993). Estes autores estabeleceram valor da relação  $F_v/F_m$  entre 0,750 e 0,850 em plantas saudáveis na ausência de estresse (biótico ou abiótico).

#### 4.4.4.2 – Estado Adaptado a Luz (EAL)

##### 4.4.4.2.1 – Rendimento Quântico Efetivo ( $F_v'/F_m'$ )

O aumento na concentração de NaCl proporcionou o declínio da relação ( $F_v'/F_m'$ ). A redução no rendimento quântico efetivo ( $F_v'/F_m'$ ) foi mais pronunciada em 'Haden' e 'Palmer', ao passo que 'Tommy Atkins' e 'Ubá' apresentaram maior tolerância na menor concentração de NaCl (Figura 34).



**Figura 34** – Rendimento quântico efetivo ( $F_v'/F_m'$ ) em cultivares de mangueiras 'Haden' (Had), 'Palmer' (Pal), 'Tommy Atkins' (Tom) e 'Ubá' (Uba) enxertados sobre o portaenxerto 'Imbú', cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

As estimativas de redução do rendimento quântico efetivo ( $F_v'/F_m'$ )



quando as plantas foram submetidas a 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl foram de 12,01; 8,44; 0,00; e 2,25%, respectivamente nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá'. Quando as plantas foram submetidas a concentrações mais elevadas de NaCl (45 mmol L<sup>-1</sup>), o rendimento quântico efetivo ( $F_v'/F_m'$ ) apresentou declínio significativo, sendo observado redução 36,03% em 'Haden'; 25,33% em 'Palmer'; e 34,83% em 'Ubá', destacando-se o cultivar 'Tommy Atkins' que apresentou menor redução (18,70%) no rendimento quântico efetivo do fotossistema II.

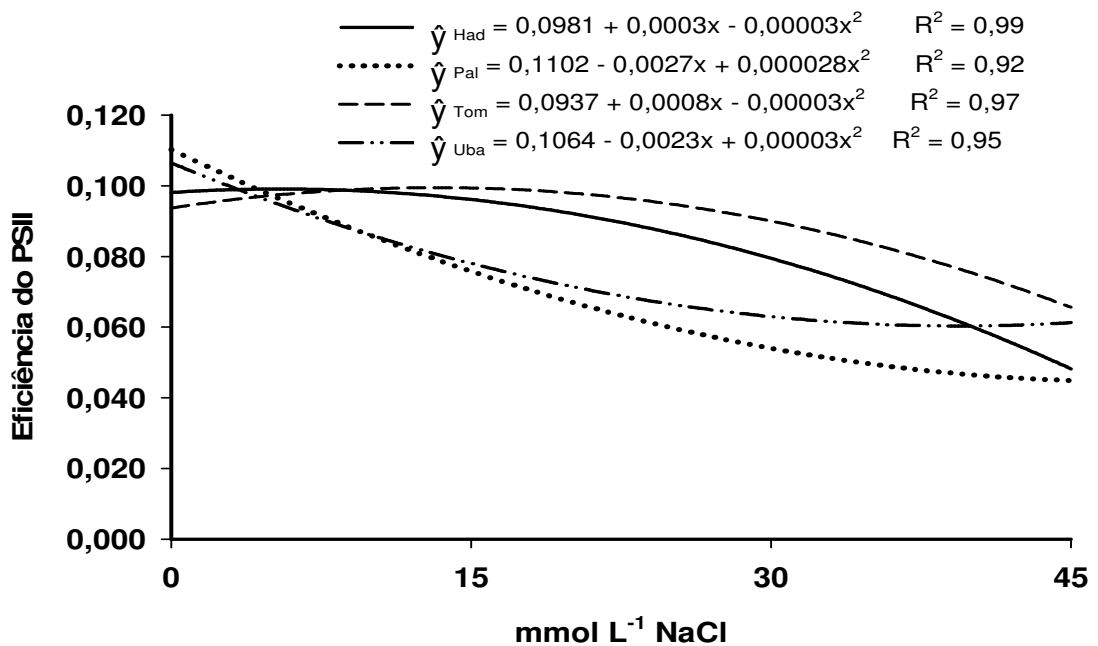
A expressão  $F_v'/F_m'$  (parâmetro de Genty) representa a eficiência de conversão da energia dos elétrons pelos centros de reação abertos do fotossistema II (PSII) em energia química (Schreiber et al., 1994). O rendimento quântico efetivo representa melhor as variações no rendimento quântico da fotossíntese do que a relação  $F_v/F_m$  (rendimento quântico potencial) e pode ser usado juntamente com o quenching fotoquímico ( $q_p$ ) para estimar a taxa de transporte de elétrons se o fluxo de fótons fotossintético (FFF) incidente no tecido fotossintetizante for conhecido (Genty et al., 1989)

#### **4.4.4.2.2 – Eficiência do Fotossistema II ( $\Phi$ PSII)**

A eficiência do fotossistema II ( $\Phi$  PSII) apresentou decréscimos em função do aumento da concentração salina na solução nutritiva. Os cultivares 'Palmer' e 'Ubá' apresentaram maior redução na eficiência do fotossistema II ( $\Phi$  PSII), ao passo que 'Haden' e 'Tommy Atkins' apresentaram tolerância até a concentração de 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl (Figura 35).

A eficiência do fotossistema II ( $\Phi$  PSII) apresentou decréscimo de 48,16; 85,09; 26,41; e 40,18% respectivamente nos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' quando cultivados em 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. No entanto, na concentração menor (15 mmol L<sup>-1</sup>), a eficiência do fotossistema II ( $\Phi$  PSII) dos cultivares 'Haden' e 'Tommy Atkins' apresentaram menos sensibilidade ao estresse salino. Já os cultivares 'Palmer' e 'Ubá' tiveram o  $\Phi$  PSII bastantes comprometidos, com redução de 48,15 e 26,08% respectivamente.

Segundo Schreiber et al. (1998), 1  $\mu$ mol de fótons causa a excitação de 1  $\mu$ mol de elétrons da clorofila, nesta condição, verifica-se que a eficiência do fotossistema II ( $\Phi$  PSII) representa a proporção destes elétrons que são usados na fase fotoquímica para redução do NADP<sup>+</sup>.



**Figura 35** – Eficiência do fotossistema II ( $\Phi$  PSII) em cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

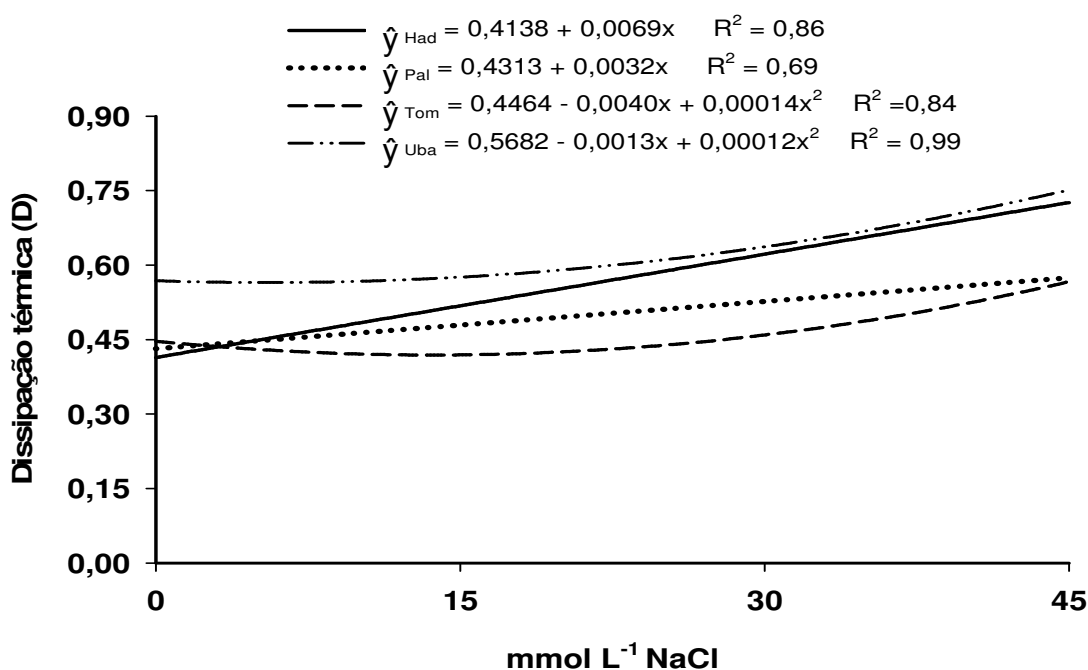
#### 4.4.4.2.3 – Dissipação Térmica de Energia (D)

A dissipação (*quenching*) da energia luminosa incidida sobre o aparato fotossintético na forma de calor aumentou à medida que as concentrações de NaCl foram aumentadas na solução nutritiva (Figura 36).

O incremento em relação às plantas controle na dissipação da energia luminosa sob a forma de calor (*D*) foi estimado em 25,15; 11,33; 0,00; e 0,90 %, respectivamente em ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ quando estes cultivares foram submetidos a 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl. No entanto, à medida que se elevou a concentração de NaCl na solução nutritiva (45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl), a dissipação térmica de energia (*D*) apresentou aumento com valores estimados em 75,45; 33,40; 26,62; e 28,20% respectivamente em ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’, em relação ao tratamento controle (0 mmol L<sup>-1</sup> NaCl).

Segundo Schreiber et al. (1998), durante a aplicação do pulso saturante de luz e após o tecido ter sido mantido no escuro, o rendimento quântico do processo fotoquímico (Ph) reduz para zero e a emissão da fluorescência e a dissipação do calor tornam-se máximos ( $F_m$  e  $D_m$ ).

Assumindo que **Ph** (dissipação fotoquímica) + **F** (dissipação por fluorescência) + **D** (dissipação por calor) = 1 (Schreiber et al., 1998), observa-se na Figura 36 que os cultivares ‘Ubá’ e ‘Haden’ apresentaram o mecanismo de dissipação térmica maior que os demais cultivares, ao passo que ‘Palmer’ e ‘Tommy Atkins’ utilizaram em maior proporção o mecanismo de fluorescência para dissipação da energia não aproveitada pelo fotossistema II.

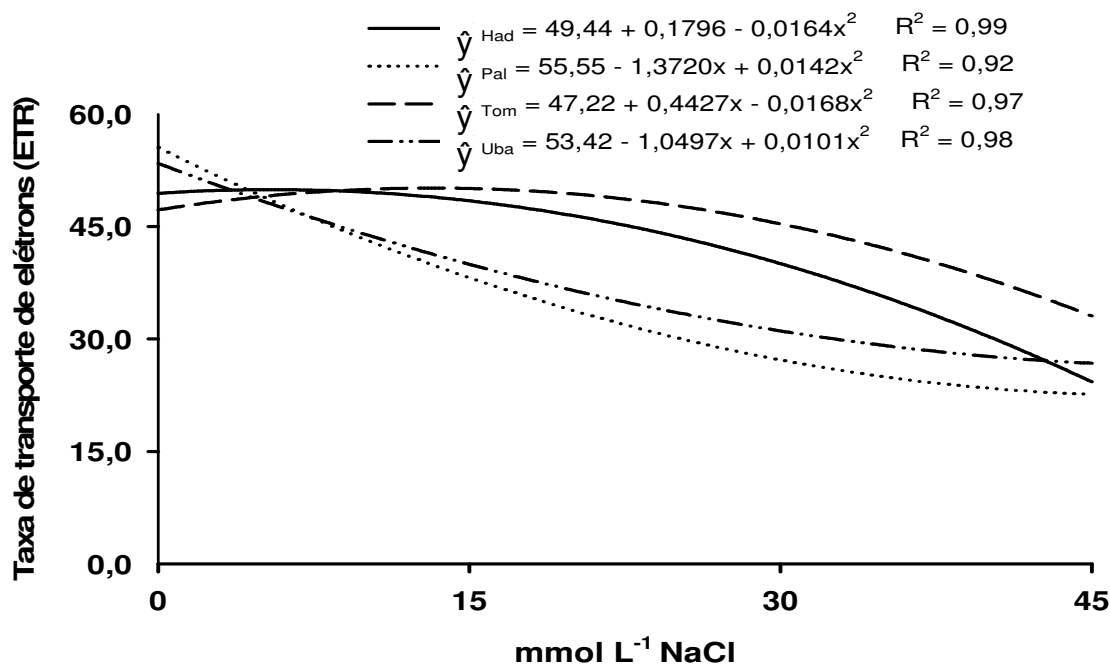


**Figura 36** – Dissipação térmica da energia luminosa (D) em cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

Segundo Demmig-Adams & Adams (1992) os mecanismos de fotoproteção e fotoinibição são ativados quando a energia luminosa absorvida é maior que a capacidade fotossintética de utilizá-la nos processos fotoquímicos. Em plantas sob estresse, o aumento da extinção não-fotoquímica sob a forma de energia térmica (D) está correlacionado com o aumento da proporção xantofila/clorofila e à rápida conversão de violaxantina em zeaxantina na presença de luz.

#### 4.4.4.2.4 – Taxa de Transporte de Elétrons (ETR)

Os cultivares de mangueira analisados apresentaram redução na taxa de transporte de elétrons (*ETR*) em função do aumento concentração de NaCl. No entanto, a redução na taxa de transporte de elétrons (*ETR*) se deu de forma diferenciada entre os cultivares (Figura 37).



**Figura 37** – Taxa de transporte de elétrons (*ETR*) em cultivares de mangueiras ‘Haden’ (Had), ‘Palmer’ (Pal), ‘Tommy Atkins’ (Tom) e ‘Ubá’ (Uba) enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’, cultivados em solução nutritiva e submetidos a estresse salino.

A taxa de transporte de elétrons (*ETR*) nos cultivares ‘Tommy Atkins’ e ‘Haden’ apresentaram baixa sensibilidade ao estresse salino quando submetidos a 15 mmol L<sup>-1</sup> NaCl (0,0 e 2,0% respectivamente), ao passo que nos cultivares ‘Palmer’ e ‘Ubá’ foi observado um decréscimo significativo (31,3 e 25,2% respectivamente) na *ETR* mesmo na menor concentração de NaCl.

Já quando estas plantas foram submetidas a 45 mmol L<sup>-1</sup> NaCl, apenas o cultivar ‘Tommy Atkins’ apresentou menor redução (29,8%) da *ETR*, com os demais cultivares apresentando estimativas de redução de 50,8; 59,4; e 50,1%, respectivamente em ‘Haden’, ‘Palmer’ e ‘Ubá’.

Redução do transporte de elétrons mediados pelos fotossistema I (PSI) e fotossistema II (PSII) em isolados da membrana do tilacóide de *Synechococcus sp.* submetidos a estresse salino foi reportado por Allakhverdiev et al. (2000). O efeito iônico causado pelo o influxo de íons  $\text{Na}^+$  através do canais  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  incrementa as concentrações de sal no citosol e provoca a dissociação da plastocianina ou do citocromo *c553* do complexo PSI causando decréscimo na taxa de transporte de elétrons mediado pelo PSI e PSII. (Allakhverdiev & Murata, 2008). Outro mecanismo proposto por Allakhverdiev et al. (2000) é a própria inativação irreversível do PSI e PSII em altas concentrações salinas.

Embora tenha ocorrido declínio da taxa de fotossíntese líquida (Figura 27) e da taxa de transporte de elétrons (Figura 37) com a exposição das plantas ao estresse salino, as diferenças das taxas de decréscimos observadas nestas características decorrem do fato de parte dos elétrons envolvidos nos processos fotoquímicos serem utilizados em outros processos que não a fixação de carbono (Baker, 2008). A fotorrespiração e a redução de oxigênio molecular (durante a reação de Mehler) podem atuar como drenos alternativos de elétrons em condições em que a fixação de carbono é limitada (Baker, 2008).

## 5 - CONCLUSÕES

Os cultivares de mangueira analisados apresentaram redução da altura de planta, da área foliar e de massa seca quando submetidos às concentrações maiores que  $15 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ .

Em todos os cultivares analisados, não foram observados sintomas visíveis de toxidez foliar na concentração de  $15 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ .

A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram reduzidas pelo excesso dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , sendo observado menores teores destes nutrientes principalmente nas raízes e nas folhas das plantas.

Os maiores teores dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , ocorreram na parte do caule próximo a copa das plantas e principalmente nas folhas à medida que as concentrações de  $\text{NaCl}$  foram aumentadas. No entanto, a distribuição dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , foi mais equitativa nos órgãos das plantas (raiz, caule e folha) quando submetidas a  $15 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ .

Em todos os cultivares, em grau diferenciados, ocorreu um decréscimo significativo nas trocas gasosas, no potencial hídrico foliar e na eficiência fotoquímica do fotossistema II, que se intensificaram nas concentrações maiores que  $15 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ .

Dentre os cultivares analisados, no conjunto das características avaliadas, o cultivar 'Tommy Atkins' se apresentou mais tolerante ao estresse salino.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-LATIF, A. Phosphoenolpyruvate carboxylase activity of wheat and maize seedlings subjected to salt stress. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 2, n. 1, p. 37-41, 2008.

ALLAHVERDIEV SR; MAVITUNA M; GANIEVA R; NAFISI S. Effects of salt stress and synthetic hormone polystimuline k on photosynthetic activity of *Trianea bogotensis* Karst. **Turkish Journal of Botany**, v. 22, p. 19-23, 1998.

ALLAKHVERDIEV, S. I.; MURATA, N. Salt stress inhibits photosystems II and I in cyanobacteria. **Photosynthesis Research**, v. 98, n. 1-3, p. 529-539, 2008.

ALLAKHVERDIEV, S. I.; SAKAMOTO, A.; NISHIYAMA, Y.; INABA, M.; MURATA, N. Ionic and osmotic effects of NaCl-induced inactivation of Photosystems I and II in *Synechococcus* sp. **Plant Physiology**, v. 123, n. 3, p. 1047-1056, (2000a).

ALLAKHVERDIEV, S. I.; 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, n. 4, p. 1201-1208 (2000b).

AL-RAWAHY, S. A.; STROEHLEIN, J. L.; PESSARAKLI, M. Dry matter yield and nitrogen-15, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, and K<sup>+</sup> content of tomatoes under sodium chloride stress. **Journal of Plant Nutricion**, v. 15, n. 3, p. 341-358, 1992.

ALVAREZ PIZARRO, J. C. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos da tolerância à salinidade em clones de cajueiro anão-precoce**. 2006. 135 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

ALVAREZ PIZARRO, J. C.; GOMES-FILHO, E.; LACERDA, C. F.; ALENCAR, N. L. M.; PRISCO, J. T. Salt-induced changes on H<sup>+</sup>-ATPase activity, sterol and

phospholipid content and lipid peroxidation of root plasma membrane from dwarf-cashew (*Anacardium occidentale* L.) seedlings. **Plant Growth Regulation**, Online First, DOI 10.1007/s10725-009-9395-7, 2009.

AMNTMANN, A.; SANDERS, D. Mechanism of Na<sup>+</sup> uptake by plant cells. **Advances in Botanical Research**, v. 29, p. 75-112, 1999.

APSE, M. P.; AHARON, G. S.; SNEDDEN, W. A.; BLUNWALD, E. Salt tolerance conferred by overexpression of a vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiport in Arabidopsis. **Science**, v. 285, n. 5431, p. 1256-1258, 1999.

ASHRAF, M.; HARRIS, P.J.C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v. 166, n. 1, p. 3-16, 2004.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão do Nordeste: caracterização, variação sazonal, limitação de uso**. Recife: CNPq, 1995. 128p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A. **Qualidade da Água na Agricultura**. Tradução: GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (**Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1**).

BAKER, N. R. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis *In Vivo*. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89-113, 2008.

BAÑULS, J.; PRIMO-MILLO, E. Effects of salinity on some *Citrus* scion-rootstock combinations. **Annals of Botany**, v. 76, n. 1, p. 97-102, 1995.

BAR, Y.; APELBAUM, A.; KAFKAFI, U.; GOREN, R. Relationship between chloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of avocado and citrus plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 20, n. 6, p. 715-731, 1997.



BERNSTAIN, N.; IOFFE, M.; ZILBERSTAIN, M. Salt-stress effects on avocado rootstock growth I. Establishing criteria for determination of shoot growth sensitivity on the stress. **Plant and Soil**, v. 233, n. 1, p. 1-11, 2001.

BERNSTEIN, L. Effects of salinity and sodicity on plant growth. **Annual Review of Phytopathology**, v. 13, n. 1, p. 295-312, 1975.

BILGER, W.; SCHREIBER, U; LANGE, O.L. Chlorophyll fluorescence as an indicator of heat induced limitation of photosynthesis in *Arbutus unedo*. In: TENHUNEN, J. D.; CATARINO, F. M.; LANGE, O. L.; OECHEL, W. C. (Eds.). **Plant Response to Stress**. SpringerVerlag, Berlin, 1987. p. 391-399.

BINZEL M.; HESS F.; BRESSAN R.; HASEGAWA P. Intracellular compartmentation of ions in salt adapted tobacco cells. **Plant Physiology**, v. 86, n. 2, p. 607-614, 1988.

BLUMWALD, E.; AHARON, G. S.; APSE, M. P. Sodium transport in plant cells. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1465, n. 1-2, p. 140–151, 2000.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; OQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LEEGOOD, R. C.; LONG, S. P. (Eds.) **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. Chapman & Hall, London, p. 193-206, 1993.

BOLHÀR-NORDENKAMPF H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; ÖQUIST, G.; SHUREIBER, U. E.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, n. 1, p. 497-514, 1989.

BONGI, G.; LORETO, F.; Gas-Exchange Properties of Salt-Stressed Olive (*Olea europea* L.) Leaves. **Plant Physiology**, v. 90, n. 4, p. 1408-1416, 1989.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK. Responses to abiotic stress. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Eds.). **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Mariland: Americam Society of Plant Physiologist, 2000, p.1158-1203.

BRUGNOLI, E.; LAUTERI, M. Effects of salinity on stomatal conductance, photosintetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and saltsensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C3 non-halophytes. **Plant Physiology**, v. 95, n. 2, p. 628-635, 1991.

CASTRO NETO, M. T.; FONSECA, N.; SANTOS FILHO, H. P.; CAVALCANTE JUNIOR, A. T. Propagação e padrão da muda. In: GENÚ, P. J. C.; PINTO, A. C. Q. (Eds.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 454 p.

CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, I. H. L.; PEREIRA, K. S. N.; OLIVEIRA, F. A.; GONDIM, S. C.; ARAÚJO, F. A. R. Germination and initial growth of guava plants irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.515-519, 2005.

CHAMPAGNOL, F. Relationships between phosphate nutrition of plants and salt toxicity. **Phosphorus Agricola**, v. 76, p. 35-43, 1979.

CHARTZOULAKIS, K.; LOUPASSAKI, M.; BERTAKI, M.; ANDROULAKIS, I. Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO<sub>2</sub> assimilation rate of six olive cultivars. **Scientia Horticulturae**, v. 96, n. 1, p. 235-247, 2002.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 551-560, 2009.

CHAZEN, O.; NEUMANN, P. M. Hydraulic signals from the roots and rapid cell-wall hardening in growing maize (*Zea mays* L.) leaves are primary responses to

polyethylene glycol-induced water deficits. **Plant Physiology**, v. 104, n. 4, p. 1385-1392, 1994.

CHEESEMAN, J. M. Mechanism of salinity tolerance in plants. **Plant Physiology**, v. 87, n. 3, p. 547-550, 1988.

CORNIC, G.; BRIANTAIS, J.M. Partitioning of photosynthetic CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> reduction in a C<sub>3</sub> leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO<sub>2</sub> concentrations during drought stress. **Planta**, v. 183, n. 2, p.178-184, 1991.

COSGROVE, D. J. Relaxation in a high-stress environment: The molecular bases of extensible cell walls and cell enlargement. **Plant Cell**, v. 9, n. 7, p. 1031-1041, 1997.

COSTA, E. S.; BRESSAN-SMITH, R.; OLIVEIRA, J. G.; CAMPOSTRINI, E.; PIMENTEL, C. Photochemical efficiency in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) during recovery from high temperature stress **Brazilian Journal of Plant Physiology**, n. 14, v. 2, p. 105-110, 2002.

CRAM, W. J. Internal factors regulating nitrate and chloride influx in plant cells. **Journal of Experimental Botany**, v. 24, n. 2, p. 328-341, 1973.

CRAMER, G. R.; LAUCHLI, A.; POLITO, V. Displacement of Ca<sup>2+</sup> by Na<sup>+</sup> from the plasmalemma of root cells. A primary response to sal stress. **Plant Physiology**, v. 79, n. 1, p. 207-211, 1985.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; FILHO, W. S. S.; NETO, M. T. C.; COELHO, E. F.; DIAS, A. T.; PAES, R. A. Produção e partição de massa seca e abertura estomática do limoeiro 'Cravo' submetido a estresse salino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 3, p. 528-531, 2003.

CUARTERO, J.; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, R. Tomato and salinity. **Scientia Horticulturae**, v. 78, n. 1-4, p. 83-125, 1999.

DEMMIG-ADAMS, B.; ADAMS III, W. W. Photoprotection and other response of plants to high light stress. **Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 43, p. 599-626, 1992.

DIONISIO-SESE, M. D.; TOBITA, S. Effects of salinity on sodium content and photosynthetic responses of rice seedlings differing in salt tolerance. **Journal of Plant Physiology**, v.157, n. 1, p. 54-58, 2000.

EMBLETON, T. W.; JONES, M. W. Avocado e mango. In: Childers, N. F. (Ed.) **Temperate and Tropical Fruit Nutrition**. The State University. New Jersey. p. 51- 57.

EPSTEIN, E; RAINS, D. W.; ELZAM, O. E. Resolution of dual mechanism of potassium absorption by barley roots. **Proceedings of National Academy of Sciences**, v. 49, n. 5, p. 684-692, 1963.

EVERARD, J. D.; GUCCI, R.; KANN, S. C.; FLORE, J. A.; LOESCHNER, W. H. Gas exchange and carbon partitioning in the leaves of celery (*Apium graveolens* L.) at various levels of root zone salinity. **Plant Physiology**, v. 106, n. 1, p. 281-292, 1994.

FARQUHAR, G. D. & SHARKEY, T. D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 33, p. 317-345, 1982.

FEIGIN, A.; PRESSMAN, E.; IMAS, P.; MILTAU, O. Combined effects of KNO<sub>3</sub> and salinity on yield and chemical composition of lettuce and chinese cabbage. **Irrigation Science**. v. 12, n. 4, p. 223-230, 1991.

FEIGIN, A.; RYLSKI, I.; MEIRI, A.; SHALHEVET, J. Response of melon and tomato plants to chloride-nitrate ratios in saline nutrient solutions. **Journal of Plant Nutricion**, v. 10, n. 9, p. 1787-1794, 1987.

FERNANDES, A. R.; CARVALHO, J. G.; CURI, N.; GUIMARÃES, P. T. G.; PINTO, J. E. B. P. Crescimento de mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes*

H.B.K) sob diferentes níveis de salinidade. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 2, p. 278-284, 2003.

FLOWERS, T. J. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, p.307-319, 2004.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, v.179, n. 4, p. 945-963, 2008.

FLOWERS, T. J.; DALMOND, D. Protein synthesis in halophytes: the influence of potassium, sodium and magnesium in vitro. **Plant and Soil**, v. 146, n. 1-2, p. 153-161, 1992.

FLOWERS, T. J.; TROKE, P. F.; YEO, A. R. The mechanism of salt tolerance in halophytes. **Annual Review in Plant Physiology**, v. 28, p. 89-121, 1977.

GALÁN SAÚCO, V. **El cultivo del Mango**. Madrid: Ed. Mundi Prensa, 1999. 298 p.

GARCIA-SANCHEZ, F.; JIFON, J. L.; CARVAJAL, M.; SYVERTSEN J. P. Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> accumulation in Sunburst mandarin grafted on different rootstocks. **Plant Science**, v. 162, n. 5, p. 705-712, 2002.

GARTHWAITE, A. J.; VON BOTHMER, R.; COLMER, T. D. Salt tolerance in wild *Hordeum* species is associated with restricted entry of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> into the shoots. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 419, p. 2365-2378, 2005.

GAXIOLA, R.; LI, J.; UNDURRAGA, S., DANG, L. M.; ALLEN, G. J.; ALPER, S.; FINK, G. Drought- and salt-tolerant plants result from overexpression of the AVP1 H<sup>+</sup>-pump. **Proceedings of National Academy of Sciences**, v. 98, n. 20, p. 11444-11449, 2001.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. The relationship between quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 990, n. 1, p. 87-92, 1989.

GERARD, C. J. Influence of osmotic potential, temperature, and calcium on growth of plant roots. **Agronomy Journal**, v. 63, n. 4, p. 555-558, 1971.

GLYNN, C. P.; GILLIAN, A. F.; GAVIN, O. Foliar salt tolerance of Acer genotypes using chlorophyll fluorescence. **Journal of Arboriculture**, v.29, n. 2, p.61-65, 2003.

GORETA, S.; BUCEVIC-POPOVIC, V.; SELAK, G. U.; PAVELA-VRANCIC, M.; PERICA, S. Vegetative growth, superoxide dismutase activity and ion concentration of salt-stressed watermelon as influenced by rootstock. **Journal of Agricultural Science**, v.146, n. 6, p. 695-704, 2008.

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

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

GRATTAN, S. R.; MAAS, E. V. Root control of leaf phosphorus and chloride accumulation in soybean under salinity stress. **Journal of Agronomy**, v. 77, n. 6, p. 890-895, 1985.

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

GREENWAY, H.; OSMOND, C. B. Salt responses of enzymes from species differing in salt tolerance. **Plant Physiology**, v. 49, n. 2, p. 256-59, 1972.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; ZHU, J. K.; BOHNERT, H. J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, n. 1, p. 463-499, 2000.

HAVAUX, M.; ERNEZ, M.; LANNOYE, R. Correlation between heat tolerance and drought tolerance in cereals demonstrated by rapid chlorophyll fluorescence tests. **Journal of Plant Physiology**, v.133, n. 5, p.555-560, 1988.

HAVAUX, M.; LANNOYE, R. *In vivo* chlorophyll fluorescence and delayed light emissions as rapid screening techniques for stress tolerance in crop plants. **Zeitschrift für Pflanzenzüchtung**, v. 95, n. 1, p. 1-13, 1985.

HECK, R. J.; TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SANTOS, M. C. Soil Chemical Changes under Irrigated Mango Production in the Central São Francisco River Valley, Brazil. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, n. 4, p. 1414-1421, 2003.

HIGINBOTHAM, N. Electro potentials of plant cells. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 24, p. 25-46, 1973.

HIPKINS, M.F.; BAKER, N.R. Spectroscopy In: **Photosynthesis-energy transduction: a practical approach**. HIPKINS, M. F.; BAKER, N. R. (Eds.). IRL Press, Oxford, 1986. p. 51-101.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experimental Station**. Circ. n. 347, 1938.

HORTON, P.; RUBAN, A. V. Regulation of Photosystem II. **Photosynthesis Research**, v. 34, n. 3, p. 375-385, 1992.

HOULT, M. D.; DONNELLY, M. M.; SMITH, M. W. Salt exclusion varies amongst polyembryonic mango cultivar seedlings. **Acta Horticulturae**, v. 455, p. 455-458, 1997.

ISHITANI, M.; LIU, J.; HALFTER, U.; KIM, CH.; SHI, W.; ZHU, J. SOS3 function in plant salt tolerance requires N-myristoylation and calcium binding. **The Plant Cell**, v. 12, n. 9, p. 1667-1677, 2000.

JINDAL, P. C.; SINGH, J. P.; GUPTA, O. P. Screening of mango seedling for salt tolerance. **Haryana Journal of Horticultural Sciences**. v. 4, n. 3-4, p. 112-115, 1975.

KADMAN, A.; GAZIT, S.; ZIV, G. Selection of mango rootstocks for adverse water and soil conditions in arid areas. **Acta Horticulturae**, v. 57, n. 1, p. 81-88, 1976.

KAFKAFI, U.; VALORAS, N.; LETEY, J. Chloride interaction with nitrate and phosphate nutrition in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v. 5, n. 12, p. 1369-1385, 1982.

KEUTGEN, A. J.; PAWELZIK, E. Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65 n. 2-3, p. 170-176, 2009.

KINRAIDE, T. B. Possible influence of cell walls upon ion concentrations at plasma membrane surfaces. Toward a comprehensive view of cell-surface electrical effects upon ion uptake, intoxication, and amelioration. **Plant Physiology**, v.136, n. 4, p. 3804-3813, 2004.

KRAUSE, H.; WEIS, E. Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 42: p. 313-349. 1991.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2005. 550 p.

LAUCHLI, A. Salt exclusion: an adaptation of legumes for crops and pastures under saline conditions. In: STAPLES, R. C. (Ed.). **Salinity Tolerance in**



**Plants: Strategies for Crop Improvement.** New York. Wiley, p. 171-187, 1984.

LAZÁK, D. Chlorophyll *a* fluorescence induction. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1412, n. 1, p. 1-28, 1999.

LEA-COX, J. D.; SYVERTSEN, J. P. Salinity reduces water use and nitrate-N-use efficiency of citrus. **Annals of Botany**, v. 72, n. 1, p. 47-54, 1993.

LICHTENTHALER, H. K.; RINDERLE, U. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 19, p. 29-85, 1988.

LU, C.; VONSHAK, A. Characterization of PSII photochemistry in salt-adapted cells of cyanobacterium *Spirulina platensis* **New Phytologist**, v.141, n. 2, p.231-239, 1999.

MAAS, E.V. Salt tolerance in plants. **Applied Agricultural Research**, New York, v.1, p.12-36, 1986.

MAAS, E. V.; GRATTAN, S. R. Crop yields as affected by salinity. In: SKAGGS, R. W.; van SCHILGRARDE, J. (Eds.) **Agricultural drainage**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1999. p. 55-108.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2<sup>a</sup> ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, V.; CERDÁ, A. Influence of N source on rate of Cl, N, Na, and K uptake by cucumber seedlings grown in saline conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 12, n. 8, p. 971-983, 1989.

MARTINEZ, V.; LAUHL, A. Salt-induced inhibition of phosphate uptake in plants of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) **New Phytologist**, v. 126, n. 4, p. 609-614, 1994.

MASS, E. V.; NIEMAN, R. H. Physiology of plant tolerance to salinity. In: JUNG, G.A. (ed.). **Crop salt tolerance to sub optimal land conditions**. Madison: American Society Agronomy, 1978. p. 277-299, Special Publication, 32.

MASSAI, R.; REMORINI, D.; TATTINI, M. Gas exchange, water relations and osmotic adjustment in two scion/rootstock combinations of *Prunus* under various salinity concentrations. **Plant and Soil**, v. 259, n. 1-2, p. 153-162, 2004.

MATHIS, P.; PAILLOTIN, G. MATHIS, P., AND G. PAILLOTIN. Primary processes in photosynthesis. of plants. In: HATCH, M. D.; BOARDMAN, N. K. (Eds.). **The biochemistry of plants**. Academic Press, New York, 1981. p. 129-137.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, vol. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo 'GAT' nos estados de RN, PB e CE**. 1992. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola: Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R. QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Eds.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. p.239-284.

MIRISOLA FILHO, L. A. **Tolerância de sete cultivares de mangueira ao estresse salino**. 2003. 129 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

MORADI, F.; ISMAIL, A. M. Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice. **Annals of Botany**, v. 99, n. 6, p. 1161-1173, 2007.

MORAIS, D. L.; VIÉGAS, R. A.; SILVA, L. M. M.; LIMA JR, A. R.; COSTA, R. C. L.; ROCHA, I. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Acumulação de íons e metabolismo de N em cajueiro anão em meio salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 125-133, 2007.

MORSY, M. H. Growth ability of mango cultivares irrigated with saline water. **Acta Horticulturae**, v. 609, p. 475-482, 2003.

MOYA, J. L.; PRIMO-MILLO, E.; TALON, M. Morphological factors determining salt tolerance in citrus seedlings: the shoot to root ratio modulates passive root uptake of chloride ions and their accumulation in leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, n. 11, p. 1425-1433, 1999.

MÜLLER, P.; LI, X. P.; NIYOGI, K. K. Non-Photochemical Quenching. A Response to Excess Light Energy. **Plant Physiology**, v. 125, n. 4, p. 1558-1566, 2001.

MUNNS, R. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. **Plant, Cell and Environment**, v. 16, n. 1, p. 15-24, 1993.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

MUNNS, R.; TERMAAT, A. Whole-plant responses to salinity. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 13, n.1, p. 143-160, 1986.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008.

MURATA, N.; NISHIMURA, M.; TAKAMIYA, A. Fluorescence of chlorophyll in photosynthetic systems II. Induction of fluorescence in isolated spinach chloroplasts. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 120, n. 1, p. 23-33, 1966.

NEOCLEOUS, D.; VASILAKAKIS, M. Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. 'Autumn Bliss'). **Scientia Horticulturae**, v. 112, n. 3, p. 282-289, 2007.

NETONDO, G. W.; ONYANGO, J. C.; BECK, E. Sorghum and Salinity I. Response of Growth, Water Relations, and Ion Accumulation to NaCl Salinity. **Crop Science**, v. 44, n. 3, p. 797-805, 2004.

NEUMANN, P. Salinity resistance and plant growth revisited. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, n. 9, p. 1193-1198, 1997.

NIU, X.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M.; PARDO, J. M. Ion homeostasis in NaCl stress environments. **Plant Physiology**, v. 109, n. 3, p. 735-742, 1995.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, C. R.; NETO, E. B.; SANTOS, V. F. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 12, p. 1963-1969, 1998.

OLIVEIRA, J. G. **Acompanhamento da fotossíntese líquida e da cinética de emissão de fluorescência da clorofila a de plantas de café (*Coffea arabica* L.) submetidas a um ciclo de suspensão e restabelecimento da irrigação.** 1995. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, J. E.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

PARANYCHIANAKIS, N. V.; ANGELAKIS, A. N. The effect of water stress and rootstock on the development of leaf injuries in grapevines irrigated with saline effluent. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 4, p. 375-382, 2008.

PARANYCHIANAKIS, N. V.; CHARTZOULAKIS, K. S. Irrigation of mediterranean crops with saline water: from physiology to management practices. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 106, n. 2-3, p. 171-187, 2005.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 60, n. 3, p. 324-349, 2005.

PARIDA, A. K.; DAS, A. B. Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 8 p. 921-928, 2004.

PASSIOURA, J. B. The physical chemistry of the primary cell wall: Implications for the control of expansion rate. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, p. 1675-1682, 1994.

PEREIRA, W. E. **Trocas gasosas, fluorescência da clorofila, crescimento e composição mineral de quatro porta-enxertos de citros submetidos a estresse por Alumínio, em Cultivo Hidropônico**. 2001. 123 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

PÉREZ-ALFOCEA, F.; ESTAÑ , M. T.; SANTA CRUZ, A.; BOLARIN, M. C. Effects of salinity on nitrate, total nitrogen, soluble protein and free amino acid levels in tomato plants. **Journal of Horticultural Science**, v. 68, n. 6, p. 1021-1027, 1993.

PESSARAKLI, M. Dry matter yield, nitrogen-15 absorption, and water uptake by green bean under sodium chloride stress. **Crop Science**, v. 31, n. 6, p. 1633-1640, 1991.

PESSARAKLI, M.; TUCKER, T. C. Dry matter yield and nitrogen-15 uptake by tomatoes under sodium chloride stress. **Soil Science Society American Journal**, v. 52, n. 3, p. 698-700, 1988.

PINTO, C. M. **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado Fitotecnia/Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

PLAUT, Z. Photosynthesis in plant/crops under water and salt stress. In: PESSARAKLI, M. (Ed), **Handbook of Plant and Crop Physiology**. Arizona: Marcel-Dekker, Inc., 1995, p. 587-603.

RADIĆ, S.; PROLIĆ, M.; PAVLICA, M.; PEVALEK-KOZLINA, B. Cytogenetic effects of osmotic stress on the root meristem cells of *Centaurea ragusina* L. **Environmental and Experimental Botany**, v. 54, n. 3, p. 213-218, 2005.

RAINS, D. W.; EPSTEIN, E. Sodium absorption by barley roots. Its mediation by mechanism 2 of alkali cation transport. **Plant Physiology**, v. 42, n. 3, p. 319-323, 1967.

RANJBARFORDOEI, A.; SAMSON, R.; VAN DAMME, P. Chlorophyll fluorescence performance of sweet almond [*Prunus dulcis* (Miller) D. Webb] in response to salinity stress induced by NaCl. **Photosynthetica**, v. 44, n. 4, p. 513-522, 2006.

RIVEIRO, R. M.; RUIZ, J. M.; ROMERO, L. Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. **Food, Agriculture and Environment**, v. 1, n. 1, p. 70-74, 2003.

ROBERTS, J. K. M.; LINKER, C. S.; BENOIT, A. G.; JARDETZKY, O.; NIEMAN, R. H. Salt stimulation of phosphate uptake in maize root tips studied by <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance. **Journal of Plant Physiology**, v. 75, n. 4, p. 947-950, 1984.

ROBINSON, M. F.; V'ERY, A. A.; SANDERS, D.; MANSFIELD, T. A. How can stomata contribute to salt tolerance? **Annals of Botany**, v. 80, n. 4, p. 387-393, 1997.

ROCHA, F. G. D. **Relações hídricas, crescimento de plantas e estratificação do sistema radicular em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica na fase vegetativa**. 2001. 60 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia/Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, v. 40, n. 1, p.13-29, 2002.

ROHÁČEK, K.; BARTAK, M. Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: basics concepts, useful parameters, and some applications. **Photosynthetica**, v.37, n. 3, p.339-363, 1999.

RUBIO, F.; GASSMANN, W.; SCHROEDER, J. I. Sodium-driven potassium uptake by the plant potassium transporter HKT1 and mutations conferring salt tolerance. **Science**, v. 270, n. 5242, p. 1660-1663, 1995.

SANTOS, J. R.; SOUZA, R. F. Efeito do estresse salino no desenvolvimento inicial de mangueira (*Mangifera indica* L.) **Magistra**, v. 15, n. 1, 2003.

SCHACHTMAN, D. P.; TYERMAN, S. D.; TERRY, B. R. The K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> selectivity of a cation channel in the plasma membrane of root cells does not differ in the salt-tolerant and saltsensitive wheat species. **Plant Physiology**, v. 97, n. 2, 598-605, 1991.

SCHEUERMANN, R.; BIEHLER, K.; STUHLFAUTH, T.; FOCK, H. Simultaneous gas exchange and fluorescence measurements indicate differences in response of sunflower, bean and maize to water stress. **Photosynthesis Research**, v. 27, n. 3, p. 198-197, 1991.

SCHMUTZ, U.; LÜDDERS, P. Effect of NaCl salinity on growth, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted mango rootstocks (var. '13-1' and 'Turpentine'). **Gartenbauwissenschaft**, v. 64, n. 2, p. 60-64, 1999.

SCHREIBER, U.; BERRY, J. A. Heat-induced changes of chlorophyll fluorescence in intact leaves correlated with damage of the photosynthetic apparatus. **Planta**, v. 136, n. 3, p. 233-238, 1977.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: SCHULZE, E. D.; CALDWELL, M. M. (Eds.). **Ecophysiology of photosynthesis**. Berlin: Springer, 1994. p. 49-70

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; HORMANN, H.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: basics and some aspects of practical relevance. In: RAGHAVENDRA, A. S (Ed.). **Photosynthesis: a comprehensive treatise**. Cambridge University Press, Cambridge, 1998. p. 320-336.

SERRANO, R.; MULET, J. M.; RIOS, G.; MARQUEZ, J. A.; LARRINOA, I. F.; LEUBE, M. P.; MENDIZABAL, I.; PASCUAL-AHUIR, A.; PROFT, M.; ROS, R.; MONTESINOS, C. A glimpse of the mechanism of ion homeostasis during salt stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, Special Issue, p. 1023-1036, 1999.

SHANNON, M. C., GRIEVE, C. M., FRANCOIS, L. E. Whole-plant response to salinity. In: WILKINSON, R. E. (ed.) **Plant-environmental interactions**. New York, Marcel-Decker, 1994. p. 199-244,

SHARPLEY, A. N.; MEISINGER, J. J.; POWER, J. F.; SUAREZ, D. L. Root extraction of nutrients associated with long-term soil management. In: STEWART, B. (Ed.), **Advances in Soil Science**, v. 19, Springer, p. 151-217, 1992.



SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M C.; ARAUJO, F. P.; MELO, N. F.; NETO, A. D. A. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 63, n. 1-3, p. 147-157, 2008a.

SILVA, M. M.; ZAMPERLINI, G. P.; COSTA, A. N.; COSTA, A. F.; CAETANO, L. C. S.; SILVA, D. M. Comportamento fotossintético de cultivares de mangueira, a pleno sol, no estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20., 2008, Vitória. **Anais...** CD-ROM. 2008b.

SINGH, U. R.; SINGH, A. P. Rootstock studies in mango (*Mangifera indica*). **Progressive Horticulturae**, v. 8. p. 13-19, 1976.

SKERRETT, M.; TYERMANN, S. D. A channel that allows inwardly directed fluxes of anions in protoplasts derived from wheat roots. **Planta**, v. 192, n. 3, 295-305, 1994.

SMILLIE, R. M.; NOTT, R. Salt tolerance in crop plants monitored by chlorophyll fluorescence *in vivo* . **Plant Physiology**, v. 70, n. 4, p. 1049-1054, 1982.

SMILLIE, R. M.; NOTT, R. Heat Injury in Leaves of Alpine, Temperate and Tropical Plants. **Australian Journal Plant Physiology**, v. 6, n. 1, p. 135-141, 1979.

SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; VIANA, S. B. A.; UYEDA, C. A.; FERNANDES, P. D. Water salinity and initial development of yellow passion fruit. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p.491-497, 2002.

SONG, L.; GUO, Y.; XU, K.; ZHANG, L. Protective mechanism in photoinhibition of photosynthesis in *Citrus unshiu* leaves. **Ying Yong Sheng Tai Xue Bao**, v.14, n. 1, p. 47-50, 2003.

STOREY, R.; WALKER, R. R. Citrus and salinity. **Scientia Horticulturae**, v. 78, n. 1-4, p. 39-81, 1999.

SUAREZ, D. L.; GRIEVE, C. M. Predicting cation ratios in corn from saline solution composition. **Journal of Experimental Botany**, v. 39, n. 5, p. 605-612, 1988.

SZE, H.; LI, X.; PALMGREM, M. Energization of plant cell membranes by H<sup>+</sup>-pumping ATPases: Regulation and Biosynthesis. **The Plant Cell**, v. 11, p. 677-689, 1999.

TÁVORA, F. J. A. F.; MELO, O. I. F. Resposta de cultivares de amendoim a ciclos de deficiência hídrica: crescimento vegetativo, reprodutivo e relações hídricas. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 22, n. 1-2, p. 47-60, 1991.

TEERARAK, M.; BHINIJA, K.; THITAVASANTA, S.; LAOSINWATTANA, C. The impact of sodium chloride on root growth, cell division, and interphase silver-stained nucleolar organizer regions (AgNORs) in root tip cells of *Allium cepa* L. **Scientia Horticulturae**, v. 121, n. 2, p. 228-232, 2009.

TESTER M.; DAVENPORT R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, n. 5, p. 503-527, 2003.

TYERMAN, S. D.; SKERRETT, I. M. Root ion channels and salinity. **Scientia Horticulturae**, v. 78, n. 1-4, p. 175-235, 1999.

VIANA, A. P.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; HUAMAN, C. A. M.; MOSQUIM, P. R. Características fisiológicas de porta-enxertos de videira em solução salina. **Scientia Agricola**, v. 58, n.1, p.139-143, 2001.

WATAD, A. A.; REUVENI, M.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M. Enhanced net K<sup>+</sup> uptake capacity of NaCl-adapted cells. **Plant Physiology**, v. 95, n. 4, p. 1265-1269, 1991.

WHILEY, A. W.; B. SCHAFFER. Stress physiology. In: LITZ, R. E. (Ed.). **The Mango: Botany, Production and Uses**. CAB International Press, London. 1997. p. 147-173.

YAMANE, Y.; KASHINO, Y.; KOILE, H.; SATOH, K. Increase in the fluorescence F0 level reversible inhibition of Photosystem II reaction center by high-temperature treatments in higher plants. **Photosynthesis Research**, v. 52, n. 1, p. 57-64,1997.

YOKOI, S.; BRESSAN, R. B.; HASEGAWA P. M. Salt stress tolerance of plants. In: IWANAGA, M. (ed). Genetic engineering of crop plants for abiotic stress. **JIRCAS Working Report**, n. 23, p. 25-33, 2002.

ZANANDREA, I.; NASSI, F. L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 2, p. 157-161, 2006.

ZHU, J. K. Regulation of ion homeostasis under salt stress. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 6, n. 5, p. 441-445, 2003.

ZHU J. K. Salt and drought signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v.53, n. 1, p. 247-273, 2002.

ZUAZO, V. H. D.; MARTÍNEZ-RAYA, A.; RUIZ, J. A. Salt tolerance of mango rootstocks (*Magnifera indica* L. cv. Osteen). **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v.1, n.1, p. 67-78, 2003.

ZUAZO, V. H. D.; MARTÍNEZ-RAYA, A.; RUIZ, J. A.; TARIFA, D. F. Impact of salinity on macro and micronutrient uptake in mango (*Magnifera indica* L. cv. Osteen). **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 2, n.1, p. 121-133, 2004.

ZUAZO, V. H. D.; PLEGUEZUELO, C. R. R.; TARIFA, D. F. Fruit yield, growth and leaf-nutrient status of mangoes grafted on two rootstocks in a marginal growing area (South-East Spain). **Fruits**, v. 61, n. 3, p. 163-170, 2006.

## APÊNDICES

**Quadro 1A** – Resumo das análises de variância da área foliar média (AFM), área foliar total (AFT), emissão foliar (EF), índice de abscisão foliar (IAF), índice de toxidez foliar (ITF), comprimento do caule (CC), diâmetro do caule (DC) e altura de planta (AP) dos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’ e submetidos a estresse salino.

FV	GL	Quadrado Médio							
		AFM	AFT	EF	IAF	ITF	CC	DC	AP
<b>Bloco</b>	4	20,7937 <sup>ns</sup>	313551,0 <sup>ns</sup>	29,4027 <sup>ns</sup>	18,7937 <sup>ns</sup>	37,31 <sup>ns</sup>	14,5576 <sup>ns</sup>	1,3080 <sup>ns</sup>	41,1290 <sup>ns</sup>
<b>NaCl</b>	3	458,0833**	1566635,0*	40,29684*	91,7833*	16112,00**	126,1300*	5,9981*	42,8750*
<b>Cultivar</b>	3	123,4167*	712925,0*	133,1539*	74,5833*	637,34*	642,9800**	8,0953*	242,5580*
<b>NaCl*Cv</b>	9	44,9611 <sup>ns</sup>	167249,0 <sup>ns</sup>	33,3058 <sup>ns</sup>	8,5388 <sup>ns</sup>	423,66*	99,1938*	1,9151 <sup>ns</sup>	29,7250 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	60	28,5870	103465,0	30,7447	14,0070	181,40	47,0970	1,7920	23,5440
<b>CV(%)</b>		38,67	77,15	34,26	47,82	56,55	28,77	6,12	10,58

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não-significativo.

**Quadro 1B** – Resumo das análises de variância da massa seca de raízes (MSR), massa seca do caule do portaenxerto (MSCP), massa seca do caule do cv. copa (MSCC), massa seca de folhas (MSF) e massa seca total (MST) dos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’ e submetidos a estresse salino.

FV	GL	Quadrado Médio				
		MSR	MSCP	MSCC	MSF	MST
<b>Bloco</b>	4	6,9741 <sup>ns</sup>	38,7071*	1,0820 <sup>ns</sup>	27,7430 <sup>ns</sup>	33,683 <sup>ns</sup>
<b>NaCl</b>	3	39,4273*	102,3968*	7,1931*	199,5870*	964,560*
<b>Cultivar</b>	3	109,1950*	307,4045**	37,6017*	85,9585*	1388,550*
<b>NaCl*Cv</b>	9	25,3665 <sup>ns</sup>	30,2357*	2,3080 <sup>ns</sup>	24,8386 <sup>ns</sup>	157,478 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	60	15,4906	12,6488	2,3863	17,6787	104,650
<b>CV(%)</b>		22,81	18,63	26,28	84,02	21,57

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não-significativo.

**Quadro 2A** – Resumo das análises de variância dos teores de nitrogênio (N-total), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), cloreto (Cl) e relação sódio/potássio (Na/K) na massa seca de raízes do portaenxerto ‘Imbú’ enxertado com os cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ submetidos a estresse salino.

FV	GL	Quadrado Médio							
		N-Total	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	Na/K
<b>Bloco</b>	4	0,0915 <sup>ns</sup>	0,0168 <sup>ns</sup>	0,0149 <sup>ns</sup>	0,0778 <sup>ns</sup>	0,0054 <sup>ns</sup>	208156,2 <sup>ns</sup>	0,0072 <sup>ns</sup>	0,0026 <sup>ns</sup>
<b>NaCl</b>	3	0,3580**	0,1350**	1,021**	0,6800**	0,0470*	77671380,0**	0,9827**	0,7740**
<b>Cultivar</b>	3	0,0770 <sup>ns</sup>	0,0252 <sup>ns</sup>	0,0266 <sup>ns</sup>	0,0473 <sup>ns</sup>	0,0250*	289936,0*	0,0673*	0,0320*
<b>NaCl*Cv</b>	9	0,0780*	0,0170 <sup>ns</sup>	0,0826*	0,0518 <sup>ns</sup>	0,0190*	957625,0 <sup>ns</sup>	0,0261*	0,0160*
<b>Resíduo</b>	60	0,0372	0,0138	0,0358	0,0342	0,0053	784268,8	0,0088	0,0064
<b>CV(%)</b>		10,99	21,42	15,68	9,93	14,69	29,17	19,37	28,46

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não-significativo.

**Quadro 2B** – Resumo das análises de variância dos teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), cloreto (Cl) e relação sódio/potássio (Na/K) na massa seca do caule do portaenxerto ‘Imbú’ enxertado com os cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ submetidos a estresse salino.

FV	GL	Quadrado Médio					
		K	Ca	Mg	Na	Cl	Na/K
<b>Bloco</b>	4	0,0610 <sup>ns</sup>	0,1453 <sup>ns</sup>	0,0055 <sup>ns</sup>	2160945 <sup>ns</sup>	0,0144 <sup>ns</sup>	0,0251 <sup>ns</sup>
<b>NaCl</b>	3	0,0075 <sup>ns</sup>	0,2791 <sup>ns</sup>	0,0072 <sup>ns</sup>	77269380**	1,8572**	0,8253**
<b>Cultivar</b>	3	0,3675**	1,1032*	0,0065 <sup>ns</sup>	2321674 <sup>ns</sup>	0,0745*	0,0189 <sup>ns</sup>
<b>NaCl*Cv</b>	9	0,0757*	0,5320*	0,0113*	3117577*	0,0199*	0,0187 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	60	0,0316	0,2394	0,0043	1146924	0,0083	0,0127
<b>CV(%)</b>		30,14	23,78	18,23	48,13	22,06	50,11

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não-significativo.

**Quadro 2C** – Resumo das análises de variância dos teores de nitrogênio (N-total), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), cloreto (Cl) e relação sódio/potássio (Na/K) na massa seca do caule dos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’ e submetidos a estresse salino.

FV	GL	Quadrado Médio							
		N-Total	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	Na/K
<b>Bloco</b>	4	0,1335 <sup>ns</sup>	0,0441*	0,0342 <sup>ns</sup>	0,01721 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>	6552609 <sup>ns</sup>	0,0311 <sup>ns</sup>	0,0407 <sup>ns</sup>
<b>NaCl</b>	3	0,3062*	0,0667*	0,1329 <sup>ns</sup>	0,0726*	0,0042*	606039400**	1,7934**	3,392**
<b>Cultivar</b>	3	0,1227 <sup>ns</sup>	0,0282 <sup>ns</sup>	1,0835**	0,3686**	0,0032*	82877060**	0,0849*	0,854*
<b>NaCl*Cv</b>	9	0,0483 <sup>ns</sup>	0,0368*	0,2558*	0,036 <sup>ns</sup>	0,0015 <sup>ns</sup>	26733840*	0,0638*	0,297*
<b>Resíduo</b>	60	0,0842	0,0148	0,0506	0,0202	0,001	5020689	0,0241	0,0528
<b>CV(%)</b>		22,00	28,29	14,15	25,19	8,53	38,61	31,83	53,84

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não-significativo.

**Quadro 2D** – Resumo das análises de variância dos teores de nitrogênio total (N-total), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), cloreto (Cl) e relação sódio/potássio (Na/K) na massa seca de folhas dos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ enxertados sobre o portaenxerto ‘Imbú’ e submetidos a estresse salino.

FV	GL	Quadrado Médio							
		N-Total	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	Na/K
<b>Bloco</b>	4	0,0941 <sup>ns</sup>	0,0476*	0,4319 <sup>ns</sup>	0,1495 <sup>ns</sup>	0,0546 <sup>ns</sup>	5687969 <sup>ns</sup>	0,1196 <sup>ns</sup>	0,0321 <sup>ns</sup>
<b>NaCl</b>	3	0,4738**	0,0075 <sup>ns</sup>	0,1876 <sup>ns</sup>	0,1525 <sup>ns</sup>	0,0361*	1325899000**	10,7700**	6,2850**
<b>Cultivar</b>	3	0,0274 <sup>ns</sup>	0,0407*	1,0414*	0,7437*	0,0158 <sup>ns</sup>	13534800*	0,1344 <sup>ns</sup>	0,2105*
<b>NaCl*Cv</b>	9	0,1250*	0,0143*	0,2753*	0,2554*	0,0284*	7974216 <sup>ns</sup>	0,0449 <sup>ns</sup>	0,0636 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	60	0,0421	0,0063	0,1361	0,1031	0,0141	4037906	0,0540	0,0532
<b>CV(%)</b>		8,85	28,05	25,19	14,41	23,7	25,62	26,66	40,43

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não-significativo.

**Quadro 3** – Resumo das análises de variância da diferença de temperatura ambiente menos a temperatura na superfície foliar (DT), concentração interna de CO<sub>2</sub> (CI), taxa transpiratória (E), condutância estomática (GS), fotossíntese líquida (A) e potencial hídrico foliar (MPa) dos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ enxertados sobre o porta-enxerto ‘Imbú’ e submetidos a estresse salino.

FV	GL	Quadro Médio					
		DT	CI	E	GS	A	MPa
<b>Bloco</b>	4	1,2480 <sup>ns</sup>	14111,33 <sup>ns</sup>	6,1081*	4,1785*	117,70 <sup>ns</sup>	0,0839*
<b>NaCl</b>	3	19,7190*	158403,00**	58,2110**	2,6306*	4365,96**	0,6135**
<b>Cultivar</b>	3	6,5621 <sup>ns</sup>	3643,35 <sup>ns</sup>	3,2916 <sup>ns</sup>	0,3686 <sup>ns</sup>	140,22 <sup>ns</sup>	0,0720 <sup>ns</sup>
<b>NaCl*Cv</b>	9	0,6999 <sup>ns</sup>	9335,92*	3,9881*	0,8100 <sup>ns</sup>	143,66*	0,0322 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	60	2,0681	3526,81	1,8913	0,4385	75,21	0,0306
<b>CV(%)</b>		5,97	19,35	31,28	142,47	46,05	45,20

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não-significativo.

**Quadro 4A** – Resumo das análises de variância da fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv), rendimento quântico potencial (Fv/Fm) e rendimento quântico basal (Fo/Fm) dos cultivares ‘Haden’, ‘Palmer’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Ubá’ enxertados sobre o porta-enxerto ‘Imbú’ e submetidos a estresse salino.

FV	GL	Quadro Médio				
		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Fo/Fm
<b>Bloco</b>	4	3898,51 <sup>ns</sup>	24353,92 <sup>ns</sup>	16506,36 <sup>ns</sup>	0,0047 <sup>ns</sup>	0,2053 <sup>ns</sup>
<b>NaCl</b>	3	7290,40*	232399,50*	312059,40*	0,1725**	0,4168*
<b>Cultivar</b>	3	8352,13*	44015,03 <sup>ns</sup>	77186,35*	0,0474*	0,9495*
<b>NaCl*Cv</b>	9	3168,24 <sup>ns</sup>	26469,58 <sup>ns</sup>	19086,37 <sup>ns</sup>	0,0098 <sup>ns</sup>	0,0982 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	60	1640,83	16256,37	19055,98	0,0082	0,0995
<b>CV(%)</b>		22,93	18,26	26,46	12,66	35,37

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não-significativo.

**Quadro 4B** – Resumo das análises de variância do rendimento quântico efetivo ( $F_v'/F_m'$ ), eficiência do fotossistema II ( $\Phi$  PSII), taxa de dissipação de energia por calor (D) e taxa de transporte de elétrons (ETR) dos cultivares 'Haden', 'Palmer', 'Tommy Atkins' e 'Ubá' enxertados sobre o porta-enxerto 'Imbú' e submetidos a estresse salino.

FV	GL	Quadrado Médio			
		$F_v'/F_m'$	$\Phi$ PSII	D	ETR
<b>Bloco</b>	4	0,021257 <sup>ns</sup>	0,000562 <sup>ns</sup>	0,016786 <sup>ns</sup>	171,6268 <sup>ns</sup>
<b>NaCl</b>	3	0,096050*	0,006439*	0,144067*	1766,3471*
<b>Cultivar</b>	3	0,090527*	0,000493 <sup>ns</sup>	0,102433*	153,8820 <sup>ns</sup>
<b>NaCl*Cv</b>	9	0,005676 <sup>ns</sup>	0,001115*	0,012293 <sup>ns</sup>	284,0450 <sup>ns</sup>
<b>Resíduo</b>	60	0,010760	0,000410	0,011090	222,7980
<b>CV(%)</b>		22,34	25,38	19,33	37,15

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

<sup>ns</sup> Não-significativo.