

**CONTROLE DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA  
BATATA SEMENTE ATRAVÉS DA CONDUTIVIDADE  
ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA**

**por**

**Manuel Benito Novella Coelho**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Agronomia**

**Orientador: Jerônimo Luiz Andriolo**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2007**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**CONTROLE DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA  
BATATA SEMENTE ATRAVÉS DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA  
SOLUÇÃO NUTRITIVA**

elaborada por

**Manuel Benito Novella Coelho**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Agronomia**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**Jerônimo Luiz Andriolo, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Carlos Alberto Barbosa Medeiros, Ph.D. (CPACT)**

**Carlos Rogério Mauch, Dr. (UFPel)**

**Dílson Antonio Bisognin, Ph.D. (UFSM)**

**Sandro Luis Petter Medeiros, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 2 de março de 2007.

## **DEDICATORIA**

**A mi esposa Elizabeth.  
A mi hijo Martín.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Federal de Santa María en general y al Departamento de Fitotecnia de su Centro de Ciencias Rurales en particular, por haberme propiciado posibilidades de desarrollo intelectual y humano.

Al Prof. Dr. Jerônimo Luiz Andriolo por su orientación, incentivo, paciencia y buena disposición.

Al Prof. Ph.D. Dilson Antonio Bisognin por la co-orientación académica, ayuda e indicaciones.

Al Prof. Dr. Sandro Luis Petter Medeiros por su amistad y sugerencias.

A todo el cuerpo docente del Programa de Pos-Graduación en Agronomía por los conocimientos brindados.

A los amigos Clarissa Melo Cogo y Rodrigo dos Santos Godoi por su tan especial manera de ser e invalorable ayudas.

A los compañeros del curso de pos-graduación Tanea Garlet, Marco Fogaça y Gustavo Giménez por su compañerismo, amistad y colaboraciones.

A los becarios Gisele Teixeira, Orcial Bortolotto, José Carlos Madalóz, Douglas Müller, Marcos Rampelotto y Mauricio Bandinelli por las asistencias prestadas en su momento.

A todo el personal del Departamento de Fitotecnia, especialmente al capataz João Colpo y al operador Francisco Medeiros, por la amistad y cooperación prestadas.

Finalmente y con todo mi cariño, a mi esposa Elizabeth, base y mentora de todo este esfuerzo.

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### CONTROLE DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA BATATA SEMENTE ATRAVÉS DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

AUTOR: MANUEL BENITO NOVELLA COELHO  
ORIENTADOR: JERÔNIMO LUIZ ANDRIOLO  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 2 de março de 2007.

Apesar de o Brasil apresentar uma média de produção de batata acima da mundial, no Rio Grande do Sul o oposto se verifica, com uma das menores médias nacionais. Isto se deve principalmente ao uso de tubérculos-semente de baixa qualidade. A multiplicação de material propagativo livre de viroses, obtido por cultura de meristemas, exige tecnologias mais eficientes e econômicas que as tradicionais feitas no solo. Diversas opções de sistemas hidropônicos têm sido propostas, mas todas apresentam o problema de favorecer excessivamente o crescimento da parte aérea da planta. O aumento da salinidade da solução nutritiva pode restringir o crescimento vegetativo das culturas hidropônicas e ao mesmo tempo permitir a utilização de águas de inferior qualidade. O objetivo geral deste trabalho foi determinar o efeito da concentração salina da solução nutritiva na propagação da batata. Foram conduzidos dois experimentos, abrangendo plântulas e minitubérculos. No primeiro foi determinado o efeito de concentrações múltiplas da solução nutritiva e no segundo o efeito de concentrações de NaCl no crescimento, desenvolvimento e produtividade. Uma solução nutritiva padrão com, em  $\text{mmol L}^{-1}$ , 13,0  $\text{NO}_3^-$ ; 1,5  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; 1,5  $\text{SO}_4^{2-}$ ; 4,0  $\text{Ca}^{++}$ ; 6,5  $\text{K}^+$  e 1,5  $\text{Mg}^{++}$ , foi empregada em ambos os experimentos. No primeiro experimento, esta solução foi diluída até chegar a uma condutividade elétrica (CE) de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  (T1, testemunha) e quatro concentrações adicionais foram comparadas como tratamentos, calculadas por coeficientes de 2,0 (T2), 3,0 (T3), 4,0 (T4) e 5,0 (T5) a partir de T1. O plantio foi feito em 24 de março de 2004. Aos 49 dias após o plantio, a massa média dos tubérculos frescos, a massa seca da parte aérea e dos tubérculos, a relação tubérculos/parte aérea e o índice de área foliar diferiram quando oriundas de plântulas e de minitubérculos. Plântulas e minitubérculos podem ser propagados em concentrações baixas de solução nutritiva, com valores da ordem de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ . No segundo experimento, os tratamentos foram três níveis de salinidade, alcançando condutividades elétricas de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$  (T1, testemunha, solução nutritiva padrão sem NaCl),  $4,2 \text{ dS m}^{-1}$  (T2),  $6,2 \text{ dS m}^{-1}$  (T3) e  $8,2 \text{ dS m}^{-1}$  (T4). O plantio foi realizado em 24 de setembro de 2004 e a colheita aos 62 dias. A relação tubérculos/parte aérea aumentou 3 a 4,3 vezes nas plântulas e nos minitubérculos, respectivamente. A elevação da salinidade por NaCl provoca atraso no desenvolvimento da planta, reduz o crescimento da parte aérea e favorece o crescimento e a produtividade de tubérculos. Concluiu-se que aumentar a concentração salina da solução nutritiva através de quantidades múltiplas de todos os sais fertilizantes que entram na composição, não aumenta a produtividade e não altera a relação tubérculos/parte aérea. Através do uso de NaCl, o crescimento da parte aérea é reduzido com mais intensidade do que o dos minitubérculos, podendo ser uma prática de manejo para diminuir a expansão foliar e o consumo de solução nutritiva.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*, plântulas, minitubérculos, propagação, CE, relação tubérculos/parte aérea.

## ABSTRACT

Doctoral Thesis  
Graduation Program of Agronomy  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

### CONTROL OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF POTATO TUBER SEED THROUGH THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE NUTRIENT SOLUTION

AUTHOR: MANUEL BENITO NOVELLA COELHO

ADVISOR: JERÔNIMO LUIZ ANDRIOLO

Location and Date of Presentation: Santa Maria, March 2<sup>nd</sup>, 2007.

Potato average production in Brazil is well above the world's one, but in Rio Grande do Sul the opposite is true, as this state holds one of the country's smallest mean production. This fact is mainly due to the use of low quality tuber seed. The multiplication of virus-free propagation material, obtained by meristem culture, requires more efficient and economic technologies than the traditional soil-based ones. Various hydroponic systems have been proposed, but all of them stimulate excessive shoot growth. Increasing the salinity of the nutrient solution can reduce the vegetative growth of hydroponic crops, allowing at the same time the use of inferior quality water. The objective of this work was to determine the effect of the saline concentration of the nutrient solution on potato propagation. Two experiments were carried out, using plantlets and minitubers. In the first one, it was determined the effect of multiples of the nutrient solution concentration and in the second one, the effect of NaCl concentrations on plant growth, development and tuber yield. A standard nutrient solution prepared with, in  $\text{mmol L}^{-1}$ , 13.0  $\text{NO}_3^-$ ; 1.5  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; 1.5  $\text{SO}_4^-$ ; 4.0  $\text{Ca}^{++}$ ; 6.5  $\text{K}^+$  and 1.5  $\text{Mg}^{++}$  was used in both experiments. In the first experiment, this solution was diluted until an electrical conductivity (EC) of 1.0  $\text{dS m}^{-1}$  (T1, control) was reached and the treatments were four additional nutrient solution concentrations, calculated by coefficients of 2.0 (T2), 3.0 (T3), 4.0 (T4) and 5.0 (T5) from T1. Planting was made on March 24<sup>th</sup>, 2004. At 49 days after planting, mean mass of fresh tubers, shoot and tuber dry mass, tuber/shoot ratio and leaf area index differed from plantlets and minitubers. Plantlets and minitubers can be propagated in low nutrient solution concentrations of electrical conductivity values of 1.0  $\text{dS m}^{-1}$ . In the second experiment, the treatments were three salinity levels, reaching electrical conductivities of 2.2  $\text{dS m}^{-1}$  (T1, control, standard nutrient solution without NaCl), 4.2 (T2), 6.2 (T3) and 8.2  $\text{dS m}^{-1}$  (T4). Planting was done on September 24<sup>th</sup>, 2004, and harvest 62 days later. Tuber/shoot ratio was increased 3 to 4.3 times in plantlets and minitubers, respectively. At high NaCl concentrations plant development is delayed, shoot growth reduced and tuber growth and yield favoured. It was concluded that raising the saline concentration of the nutrient solution through multiple quantities of all the component salts does not increase tuber yield and has no effect on tuber/shoot ratio. By using NaCl, shoot growth is comparatively more reduced than that of minitubers, so it can be a management practice to reduce leaf expansion and nutrient solution use.

Keywords: *Solanum tuberosum*, plantlets, minitubers, propagation, EC, tuber/shoot ratio.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Relação entre rendimento relativo e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo .....	21
FIGURA 2.2 – Relação entre rendimento relativo e condutividade elétrica da solução nutritiva .....	22
FIGURE 3.1 – Electrical conductivities (EC) of nutrient solutions used as concentration treatments (T1, T2, T3, T4 and T5) for potato minituber production, weekly averaged. UFSM, Santa Maria-RS, 2004 .....	34
FIGURE 3.2 – Total dry mass (TOTDM) and dry mass of tubers (TDM) (a); tuber fresh mass (TFM) and mean mass of fresh tubers (TMM) (b) produced by potato plantlets as propagation material at increasing nutrient solution concentration levels. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004 .....	35
FIGURE 3.3 – Total dry mass (TOTDM, a), dry mass of tubers (TDM, b) and shoot dry mass (SDM, c); tuber fresh mass (TFM) and mean mass of fresh tubers (TMM) (d) produced by potato minitubers as propagation material at increasing nutrient solution concentration levels. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.....	36
FIGURE 4.1 – Relationship between quantities of NaCl used in the experiment (SALSUL®) and electrical conductivity (EC) of the aqueous solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.....	46
FIGURE 4.2 – Electrical conductivities (EC) of nutrient solutions used as salinity treatments (T1, T2, T3 and T4) for potato minituber production, weekly averaged. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.....	47
FIGURE 4.3 – Phyllochron (a) and accumulated thermal time up to the end of the vegetative stage (HS to EVS, b) of potato plants originated from minitubers as propagation material at increasing NaCl salinity levels of the nutrient solution. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004 ....	48
FIGURE 4.4 – Fresh mass (TFM) and mean mass of tubers (TMM) produced from plantlets (a, c) and from minitubers (b, d) as propagation materials at increasing NaCl salinity levels of the nutrient solution. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.....	49

FIGURE 4.5 – Shoot (SDM), tubers (TDM), and total (TOTDM) dry mass of potato plants grown from plantlets (a, c, e) and minitubers (b, d, f) as propagation materials at increasing NaCl salinity levels of the nutrient solution. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004 ..... 50

FIGURE 4.6 – Tuber:shoot ratio (TSR) of potato plants grown from plantlets (a) and minitubers (b) as propagation materials at increasing NaCl salinity levels of the nutrient solution. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004..... 51



## LISTA DE TABELAS

TABLE 3.1 – Means of number of tubers (TN), mean mass of fresh tubers (TMM), dry mass of tubers (TDM), shoot dry mass (SDM), tuber/shoot ratio (TSR) and leaf area index (LAI) of potato plants grown from plantlets and minitubers as propagation materials in five nutrient solution concentration levels. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.....	37
TABLE 4.1 – Means of number of tubers (TN), tuber fresh (TFM) and dry mass (TDM), shoot (SDM) and total dry mass (TOTDM) and tuber/shoot ratio (TSR) of potato plants grown from plantlets and minitubers as propagation materials in four NaCl salinity levels of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.....	45
TABELA 5.1 – Cálculo do custo da solução nutritiva e das adições de NaCl. Preços no mercado de Santa Maria - RS no 18/01/2007 .....	53

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	5
<b>ABSTRACT</b> .....	6
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	7
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	9
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
<b>2.1 Problemática da água</b> .....	12
<b>2.2 Problemática da propagação da batata</b> .....	13
<b>2.3 Efeitos da salinidade nas plantas</b> .....	15
<b>2.4 Modelos de salinidade</b> .....	20
<b>2.5 Mecanismos de resistência vegetal à salinidade</b> .....	23
<b>2.6 Efeitos da salinidade na batata</b> .....	25
<b>3. CAPÍTULO I – Concentration of the nutrient solution in the hydroponic production of potato minitubers</b> .....	28
Abstract.....	28
Resumo.....	28
Introduction.....	29
Material and Methods.....	30
Results and Discussion.....	31
Conclusions.....	33
<b>4. CAPÍTULO II – Hydroponic production of potato tubers at different NaCl concentrations</b> .....	38
Abstract.....	38
Resumo.....	38
Introduction.....	39
Material and Methods.....	40
Results and Discussion.....	42
Conclusions.....	44
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	52
<b>6. CONCLUSSÃO</b> .....	54
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	55

## 1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de batata em 2005 foi estimada em cerca de 322 milhões de toneladas, com 19 milhões de hectares plantados e produtividade média de 17 t ha<sup>-1</sup>. No Brasil neste mesmo ano, a produtividade média foi de 22 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2005; IBGE, 2006).

O Rio Grande do Sul, apesar de ter uma das maiores áreas de produção, ocupando o terceiro lugar entre os 12 estados produtores deste tubérculo, detêm uma das menores produtividades, ficando no penúltimo lugar com 12 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2006). O diagnóstico da situação aponta como causa principal o uso massivo de tubérculos-semente de baixa qualidade sanitária. A obtenção de material propagativo de alta qualidade deve ser feita por micropropagação e esse material deve ser disponibilizado aos produtores de batata-semente em tempo hábil. Para tal, métodos de multiplicação mais eficientes do que aqueles tradicionais feitos no solo são necessários.

A este respeito, diversos sistemas sem solo têm sido recomendados que melhoram a eficiência de multiplicação e a sanidade da batata-semente, mas todos apresentam o problema de favorecer excessivamente o crescimento da parte aérea da planta. Essa característica é desvantajosa, tanto por reduzir a produtividade de tubérculos, como por aumentar desnecessariamente o consumo de solução nutritiva. O aumento da concentração salina na solução nutritiva é uma prática que pode ser empregada em espécies oleráceas para reduzir o crescimento vegetativo. Além disso, com tal técnica é possível usar águas cujo teor salino as fazem impróprias para uso humano ou industrial. Este fato é atualmente de primordial importância dada a escassez mundial de água de boa qualidade e o dramático aumento do uso agrícola da mesma nos anos recentes, que atinge 70% do total (FAOSTAT, 2005).

O objetivo geral deste trabalho foi testar a possibilidade de empregar águas salinas na produção hidropônica de batata. Os objetivos específicos foram determinar o efeito da salinidade, provocada tanto por altas concentrações da solução nutritiva como de cloreto de sódio, sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas de batata e sobre a produtividade de minitubérculos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Problemática da água

O uso agrícola da água no planeta triplicou no período de 1950 a 1995, alcançando neste último ano mais de 66% do uso total da água e chegando a 70% no ano 2000. A água de boa qualidade está em falta em nível global, de modo que águas de inferior qualidade (incluindo aquelas com diferentes graus de salinidade) devem ser usadas. Isto levou à salinização de um terço do total dos solos irrigados do mundo, efeito que deprime o crescimento e a fotossíntese nas glicófitas, que são a maioria das espécies cultivadas. Esses solos irrigados alcançam 15% do total de terras cultivadas no mundo, mas como atingem pelo menos duas vezes a produtividade daqueles que dependem da chuva, podem chegar a produzir um terço do alimento do planeta.

A água subterrânea é uma fonte importantíssima, com 1,7% do total do orbe incluindo a dos oceanos, que representam 96,5% do total de água mundial. Esse teor de água subterrânea é similar a do gelo do planeta; equivale a 218 anos de precipitação pluvial, e 55% dela é salina. As águas subterrâneas salinas somam quase 1% do estoque hídrico mundial, quantidade 21% superior às reservas subterrâneas de água doce, sendo especialmente deste modo nas regiões áridas e semi-áridas, onde a água é mais importante, escassa e requerida (Marschner, 1995; Ghassemi *et al.*, 1995, apud Yeo, 1999; Shannon & Grieve, 1999; Lovelli *et al.*, 2000; Munns, 2002; Taiz & Zeiger, 2004; FAOSTAT, 2005).

Estas regiões áridas e semi-áridas são prevalentes no norte da Ásia, mas estão disseminadas por todo o planeta. Seu *lgp* (*length of growing period*), ou comprimento do período de crescimento de culturas anuais, é de 0 a 59 e 60 a 119 dias, respectivamente. Esse *lgp* é a temporada durante o qual o solo permanece úmido e as temperaturas permitem o crescimento das culturas.

O total da superfície ocupada por estas zonas com baixas precipitações pluviométricas é 36,4 milhões de km<sup>2</sup>, 27% da superfície global de terra firme e equivalem a 2,6 vezes o total de solos aráveis do mundo. Sua importância cresce ainda mais quando consideramos que albergam 38% da população mundial, aproximadamente 1,7 bilhões de pessoas (FAO, 2000). A continuidade da produção

agrícola nessas regiões depende da irrigação com águas com algum grau de salinidade.

## 2.2 Problemática da propagação da batata

A batata (*Solanum tuberosum* subespécie *tuberosum*) é a olerácea mais importante no Brasil e no mundo, considerada como “alimento universal”, em função do seu alto valor nutritivo e da importância socioeconômica que representa.

Originária da América, na zona vizinha ao lago Titicaca, entre Peru e Bolívia, aonde vem sendo cultivada há cerca de 7000 anos, foi levada a Europa em 1570 onde foi usada inicialmente como medicamento. Após 200 anos era alimento básico neste continente e especialmente na Irlanda, a batata foi usada em grande escala na produção alimentícia no século XVIII. Uma série de desastrosas colheitas de batata no século XIX causou a morte de milhões pela fome e a formação de uma forte corrente migratória, especialmente para os Estados Unidos. Disseminada na atualidade pelo mundo inteiro, é a quarta cultura agrícola em importância, após o arroz, o trigo e o milho.

Conhecida no Brasil como batata inglesa, é uma hortaliça do tipo tubérculo, pertencente à família *Solanaceae*. Pobre em gordura e rica em carboidratos, é fonte importante de fósforo, vitaminas do grupo B, e se destaca como fonte de vitamina C entre os alimentos básicos. Cultura de alto rendimento por área, é a mais eficiente em tempo e espaço na síntese de carboidratos. Adaptada a diversos habitats, tem uso humano (consumo de mesa e processada), animal e industrial.

As hastes das plantas de batata são eretas nos primeiros estágios do desenvolvimento, mas tornam-se prostrados ou semi-prostrados. Os tubérculos são caules subterrâneos modificados, que se formam na extremidade de outros caules subterrâneos, os estolões, geralmente acima e ao lado da batata semente e próximo à superfície. Apresentam gemas vegetativas, pelo que são usados para semente, sendo as flores e frutos somente importantes para fins de melhoramento.

A batata tem um sistema radicular relativamente superficial e delicado, com a maioria das raízes até 0,3 m de profundidade e que se forma rapidamente ao princípio do ciclo, conseguindo o desenvolvimento máximo pela metade do mesmo. Depois disso, o comprimento, densidade e massa radicular diminuem à medida que a planta amadurece (Filgueira, 2000; Pereira & Shock, 2006; Batata Inglesa, 2007).

A produção em 2005 desta cultura em nível mundial foi de 322 milhões de toneladas de tubérculos, com produtividade média de 17 toneladas por hectare e 19 milhões de hectares cultivados. No mesmo ano no Brasil, a área cultivada foi de 142 mil hectares e a produção de 3,1 milhões de toneladas, atingindo média de 22 toneladas por hectare, bem acima da mundial. O Rio Grande do Sul, no entanto, apesar de ter em nível nacional uma das maiores áreas de produção, ocupando o terceiro lugar entre os 12 estados produtores deste tubérculo com 26.000 hectares, detêm uma das menores produtividades, em torno de 12 toneladas por hectare, ficando somente na frente da Paraíba neste contexto (FAOSTAT, 2005; IBGE, 2006). Isto se deve principalmente ao uso de tubérculos-semente de baixa qualidade por 95% dos produtores. Tem sido detectada murcha bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) em 100% das plantas com sintomas coletadas em diferentes regiões do Estado e viroses em até 42% das amostras de algumas cultivares usadas como batata-semente pré-básica (FEPAGRO, 1998; Daniels *et al.*, 2000; Martins & Couto, 2001).

Para o aumento da produtividade da batata no Rio Grande do Sul, faz-se necessário disponibilizar suficiente material propagativo de alta qualidade fitossanitária em todas as épocas de cultivo. A limpeza clonal e posterior indexação garantem a sanidade deste material e métodos mais eficientes de multiplicação melhoram a cadeia produtiva (Medeiros, 2003).

Tradicionalmente, a produção de sementes de batata tem sido feita no solo, mas tal método apresenta baixa eficiência produtiva, de somente 3 a 5 tubérculos por planta e riscos de contaminação por patógenos do solo. Visando solucionar estes problemas, diversos sistemas têm sido recomendados, com especial destaque para os hidropônicos em NFT (fluxo laminar de nutrientes) desenvolvidos na Embrapa Clima Temperado (Medeiros, 2003), e os aeropônicos (Farran & Mingo-Castel, 2006), os quais aumentaram as taxas de multiplicação de tubérculos.

No entanto, estas técnicas apresentam alguns aspectos negativos, tais como alto consumo de energia elétrica, necessidade de realizar repetidos ajustes de pH e condutividade da solução nutritiva, capacitação da mão de obra e principalmente o risco de perdas parciais ou totais da produção por mau funcionamento do sistema, especialmente em casos de falta de energia elétrica. A tendência moderna nos cultivos sem solo é o uso de substratos quimicamente inertes, os quais permitem um controle mais preciso da nutrição mineral das plantas. Trabalhos conduzidos no

Departamento de Fitotecnia da UFSM apontam ao uso de hidroponia com substratos, especificamente areia de um a três milímetros de granulometria como alternativa a estes sistemas, apresentando as seguintes vantagens:

- custo mais baixo,
- maior simplicidade de manejo,
- menor consumo de energia elétrica,
- facilidade de obtenção,
- elevada inércia química e biológica,
- adequada relação água/ar para otimizar o desenvolvimento das raízes,
- potencial matricial reduzido, ficando praticamente o potencial hídrico total do substrato determinado somente pelo potencial osmótico da solução nutritiva agregada ao mesmo (Andriolo *et al.*, 2004; 2005).

### **2.3 Efeitos da salinidade nas plantas**

Na produção hidropônica, as plantas absorvem água e nutrientes minerais diretamente da solução nutritiva, não sofrendo nunca de estresse por sua falta. Conseqüentemente, seu crescimento vegetativo (força de fonte) é aumentado em relação àquelas cultivadas no solo. Esta é uma característica indesejável de tal sistema de produção, pois o rendimento de órgãos de interesse comercial como frutos, tubérculos ou raízes pode ser reduzido, diminuindo o índice de colheita. Não obstante, a composição da solução nutritiva pode ser manipulada como uma ferramenta fisiológica para influenciar a partição de massa seca entre os componentes vegetativos e de armazenamento da planta.

A salinidade (aumento da concentração de sais na solução) tem sido uma técnica usada para reduzir o crescimento vegetativo das culturas oleráceas cultivadas em hidroponia. O excesso de salinidade no meio radicular força às plantas a usar mais energia na absorção de água e em ajustes dos processos bioquímicos necessários para compensar este estresse, desviando tal energia do crescimento e processos produtivos (Rhoades *et al.*, 1992).

Os efeitos da alta condutividade da solução sobre as plantas são de dois tipos:

- a) osmóticos, determinados pela pressão osmótica ( $\pi$ ) do solo ou da solução nutritiva e
- b) íon específicos, dividindo-se estes últimos, por sua vez, em efeitos tóxicos devido ao excesso de absorção de um íon osmoticamente ativo e efeitos sobre a nutrição mineral, afetando a absorção e distribuição de íons essenciais (Medeiros, 2001; Sonneveld, 2004).

As plantas respondem inicialmente ao potencial osmótico da solução (Ruiz *et al.*, 1999; Medeiros, 2001), pelo menos aquelas de moderadamente tolerantes a tolerantes à salinidade, sendo secundárias suas respostas aos íons particulares (Ayers & Westcot, 1985; Plaut, 1997). De fato, os efeitos osmóticos afetam o crescimento da planta em forma imediata e com muita antecedência aos efeitos específicos; Munns (2002) informa que a redução do crescimento em cultivares sensíveis e moderadamente tolerantes de uma mesma espécie quando submetidos a concentrações de NaCl de 100 mM (equivalentes a 8,0 dS m<sup>-1</sup> de condutividade elétrica, Figura 4.1), foi similar durante quatro semanas, e somente na oitava semana puderam ser apreciadas claramente as diferenças em crescimento.

Em consequência, os efeitos osmóticos produzidos pela salinidade da solução são similares àqueles causados pela seca (Munns, 2002). Uma das revisões pioneiras sobre os efeitos fisiológicos do estresse hídrico sobre o rendimento vegetal neste respeito foi a de Begg & Turner (1976), que os detalham da seguinte maneira:

- modificações no balanço hormonal e no metabolismo do nitrogênio;
- redução da abertura estomática devido a câmbios no turgor das células guarda;
- redução da fotossíntese, devido em primeiro lugar à redução da condutância de CO<sub>2</sub> provocada pela redução da abertura estomática e posteriormente devido à redução da atividade cloroplástica e enzimática;
- redução da respiração em consequência direta da depressão da fotossíntese, pois os substratos para a fotorespiração originam-se a partir de produtos desta última;
- redução da translocação de assimilados, como resultado da redução da fotossíntese;



- câmbios na partição de assimilados, que dependerão da duração e severidade do estresse hídrico e do estágio de desenvolvimento da planta.

Salisbury & Ross (1991) complementam o anteriormente mencionado citando a seguinte seqüência de eventos em plantas mesófitas à medida que o estresse hídrico vai-se desenvolvendo:

- 1) o crescimento celular é o primeiro a ser afetado, após uma redução do potencial externo de água ( $\Psi$ ) de apenas 0,1 MPa, seguido por
- 2) redução da formação (síntese) da parede celular;
- 3) redução da síntese protéica (quase tão sensível como a anterior);
- 4) inibição da formação de protoclorofila;
- 5) redução da atividade enzimática, especialmente da nitrato redutase (NR), apesar de que algumas enzimas como as hidrolíticas aumentam sua atividade, degradando amidos e outros materiais para baixar o potencial osmótico da planta e assim alcançar o ajuste osmótico;
- 6) neste momento o conteúdo de ABA começa a aumentar, marcadamente nas folhas (40 vezes) e também (porém em menor grau) nas raízes, o que leva a
- 7) fechamento estomático, que diminui a transpiração e a fotossíntese;
- 8) diminuição da fixação e redução do nitrogênio;
- 9) inibição da divisão celular;
- 10) a  $\Psi = -0,3$  a  $-0,8$  MPa, o etileno começa a aparecer e as citoquininas a desaparecer nas folhas, provocando senescência e abscisão foliar;
- 11) a prolina e outros aminoácidos e amidas como a betaína começam a se acumular se o estresse hídrico se prolonga, contribuindo assim à osmoregulação;
- 12) os eventos já citados por Begg & Turner (1976) a partir da redução da transpiração, cessam completamente para intervalos de  $\Psi$  entre  $-1,0$  e  $-2,0$  MPa.

Neste ponto do estresse hídrico as plantas se recuperam se reidratadas, mas o rendimento é visível e irreversivelmente diminuído, pois o crescimento é especialmente sensível mesmo à seca moderada (células menores e menor

desenvolvimento foliar reduzem a área fotossintética). Além disso, as plantas são mais sensíveis em determinados estágios do desenvolvimento, tais como a formação do pendão no milho e, especificamente para a batata, na iniciação da tuberização e no enchimento do tubérculo (Karam *et al.*, 1997; Shannon & Grieve, 1999).

Os efeitos da salinidade sobre o crescimento, desenvolvimento e rendimento vegetal, seja aquela provocada por alta concentração da solução ou pela irrigação com água salina ou salobra, são então atribuídos em primeiro lugar a distúrbios no fluxo de água na planta, similares aos produzidos pelo estresse hídrico causado por seca no solo. Em tal caso, o crescimento das raízes é favorecido frente ao da parte aérea da planta devido a maior velocidade de ajuste osmótico nas células das primeiras (Karam *et al.*, 1997; Heuer & Nadler, 1998, ambas referencias especificamente para batata; Hsiao & Xu, 2000; Li & Stanghellini, 2001, em tomate; Munns, 2002; Furlani *et al.*, 2004, em alface). Por ajuste osmótico entende-se a capacidade dos tecidos vegetais de manter a pressão de turgor quando o potencial de água do meio de crescimento declina. Esse ajuste é usualmente obtido através do aumento na concentração de solutos da célula, especialmente  $K^+$ , açúcares e o aminoácido prolina (Heuer & Nadler, 1998).

Ao mesmo tempo, tais distúrbios no fluxo hídrico influenciam a absorção iônica e a produção de hormônios com efeito global sobre a planta (Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999). O estresse hídrico nas raízes provoca nelas o aumento da síntese e exportação de ácido abscísico (ABA) para a parte aérea da planta. Parte deste ABA pode se ligar diretamente à receptores na superfície externa da membrana plasmática das células guarda, induzindo o fechamento dos estômatos e evitando deste modo perda de água, ou interferir na ação da auxina IAA (ácido indol acético) sobre o alongamento celular. Assim, o crescimento da parte aérea é inibido poupando ainda mais água.

O ABA ainda fomenta o crescimento radicular, que aumenta o suprimento de água para a planta e, em concentrações adequadamente baixas, aumenta a condutância hídrica das raízes, reduzindo o estresse hídrico para a parte aérea. O aumento do ABA incrementa a proporção de ABA a giberelinas (relação ABA:GA) dentro da planta, que induz a tuberização em batata. Esta ampliação da relação ABA:GA pode ser conseguida também pela manipulação de outros fatores

ambientais, tais como diminuição do suprimento de nitrogênio ou do fotoperíodo (Salisbury & Ross, 1991; Marschner, 1995).

Apesar de ter-se estabelecido que os efeitos íon-específicos da salinidade são de segunda ordem nas plantas com pelo menos tolerância moderada a ela, isto não é assim para as espécies mais sensíveis, tais como feijão e árvores frutíferas. Nelas, baixos níveis de salinização por NaCl que não provocam estresse hídrico à planta geram redução do crescimento e danos foliares típicos de toxicidade (clorose marginal e queimaduras das folhas, clorose intervenial e necrose nas folhas maduras), atribuídos principalmente ao cloreto. A sensibilidade ao cloreto pode ter uma diferença de nove vezes, de concentração 10 mM a 60-90 mM  $\text{Cl}^-$  na água foliar para espécies sensíveis e tolerantes, respectivamente.

A ocorrência de toxicidade por sódio é menor do que a de cloreto. Os problemas com o sódio originam-se da competição com o potássio pelos transportadores de membrana, tanto de alta como de baixa afinidade (mecanismos de absorção 1 e 2), pois o sódio normalmente está presente em maiores concentrações que o potássio em solos salinos. No entanto este cátion é essencial por participar de muitas funções em nível celular e da planta como um todo (por exemplo, ativa mais de 50 enzimas), já o sódio não é, e pode se tornar tóxico ao competir com o potássio em processos bioquímicos citoplasmáticos. Neste caso, a presença do cálcio parece ser crítica para melhorar a integridade da membrana e ajudar na absorção de potássio aumentando a seletividade  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  de um transportador do tipo uniporte de alta afinidade  $\text{K}^+-\text{Na}^+$  (HKT1), favorecendo assim a resistência da planta à salinidade. Não obstante, a presença de excesso de sódio no meio de crescimento pode provocar deficiência induzida de cálcio, pois aquele pode deslocar este de seus sítios de ligação na superfície externa da membrana plasmática, prejudicando a homeostase do cálcio nas células e sua função como mensageiro secundário de estímulos externos (luz, gravidade, mecânicos) e internos (hormônios) à planta. Esta deficiência causa desordens fisiológicas como podridão estilar do tomate e coração negro oco da batata, diminuindo a qualidade dos frutos e hortaliças.

O excesso de cloreto de sódio pode afetar a absorção, transporte e utilização de outros nutrientes, tais como deficiência induzida de manganês e toxicidade ou deficiência de fósforo, dependendo da quantidade deste no substrato.

A salinidade também deprime, como o faz a seca, a fotossíntese e a síntese protéica, mas em maior grau. Inversamente, a respiração aumenta tanto nas folhas como nas raízes, demonstrando uma maior demanda de energia, necessária para a compartimentação e exclusão iônica e para reparações celulares (Ayers & Westcot, 1985; Salisbury & Ross, 1991; Marschner, 1995, Liu & Zhu, 1997).

Apesar de que o efeito geral da excessiva salinidade no meio de crescimento vegetal é de redução do rendimento (Plaut, 1997; Shannon & Grieve, 1999) e do acúmulo de massa seca nas raízes, o crescimento radicular é menos afetado que o da parte aérea, resultando em uma maior relação raiz/parte aérea nas plantas sob estresse salino do que em aquelas sem ele (Alhagdow *et al.*, 1999; Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999). As mudanças nesta relação devem ser seguidas por câmbios concomitantes na partição de assimilados entre a raiz e a parte aérea. No que diz respeito à relação entre o crescimento do caule e o crescimento foliar em tomate cultivado (genótipos comerciais), o primeiro é menos afetado que o segundo, decrescendo menos seu peso seco. A diminuição da massa seca foliar não está relacionada com modificações na emissão de folhas, mas apenas com a redução do crescimento da área foliar (Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999).

A redução da parte aérea tem como vantagem adicional o fato de facilitar o manejo da cultura ao reduzir o crescimento da parte aérea. A este respeito, resultados de Schwarz (2003) apontam que o aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva até  $9 \text{ dS m}^{-1}$  é mais eficiente na diminuição da massa seca com o emprego de NaCl do que com a adição de macronutrientes.

Ao mesmo tempo, a literatura informa que a qualidade de fruta de hortaliças de alta qualidade produzidas hidroponicamente, em especial tomates, melhora significativamente com o aumento da salinidade da solução nutritiva até valores ao redor de  $5 \text{ dS m}^{-1}$  (Adams, 1988, apud Schwarz & Kuchenbuch, 1998; Sonneveld & Welles, 1988; Plaut, 1997; Stanghellini *et al.*, 1998; Plaut & Grava, 2000; Hohjo *et al.*, 2001).

## **2.4 Modelos de salinidade**

Maas & Hoffman (1977), forneceram em seu trabalho, além de uma exaustiva revisão da informação disponível nesse momento sobre a resistência ou tolerância

das plantas à salinidade, uma proposta pioneira da avaliação numérica dela por meio de uma equação linear simples (Figura 2.1):

$$R = 100 - i(CE_e - CE_l)$$

onde:

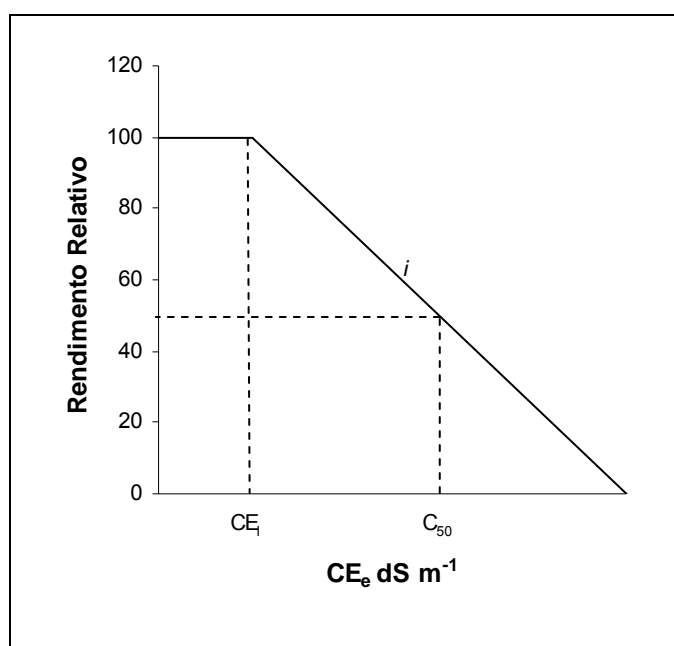
$R$  = rendimento relativo,

$i$  = *inclinação da reta* ou porcentagem de diminuição do rendimento por unidade de aumento da salinidade além  $CE_l$ ,

$CE_e$  = condutividade elétrica do extrato de saturação do solo,

$CE_l$  = *limiar* ou condutividade elétrica máxima acima da qual há diminuição do maior rendimento esperado, e

$CE_e > CE_l$ .



**Figura 2.3** – Relação entre rendimento relativo e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo.

O parâmetro denominado  $C_{50}$ , ou condutividade elétrica crítica, é o valor de salinidade no qual o rendimento da cultura é reduzido em 50%. Este valor é considerado por alguns autores como o mais confiável e prático para avaliar as resistências das culturas à salinidade, devido ao fato que em altas salinidades a resistência ao sal tem pouca importância econômica e que as medições nestas condições podem distorcer a curva de resistência. Além disso, este parâmetro pode

ser determinado a partir de um número menor de observações que as necessárias para o cálculo do limiar e da inclinação da reta (Shannon & Grieve, 1999).

A equação apresentada tem como condição começar de um patamar de rendimento máximo, justificável desde o ponto de vista de ter sido desenvolvida para cultivos em solo, onde existe fertilidade residual (mínima) para manter o crescimento. No entanto, em cultivos hidropônicos esta condição não existe, e a relação entre a CE e os nutrientes agregados necessita redefinir-se. Sonneveld (2004) ajusta o modelo de Maas/Hoffman da seguinte maneira (Figura 2.2):

$$R = < 100 \text{ quando } 0 \leq CE_s \leq CE_m$$

$$R = 100 \text{ quando } CE_m < CE_s \leq CE_l$$

$$R = 100 - i(CE_s - CE_l) \text{ quando } CE_l < CE_s \leq CE_M$$

$$R = 0 \text{ quando } CE_s \geq CE_M$$

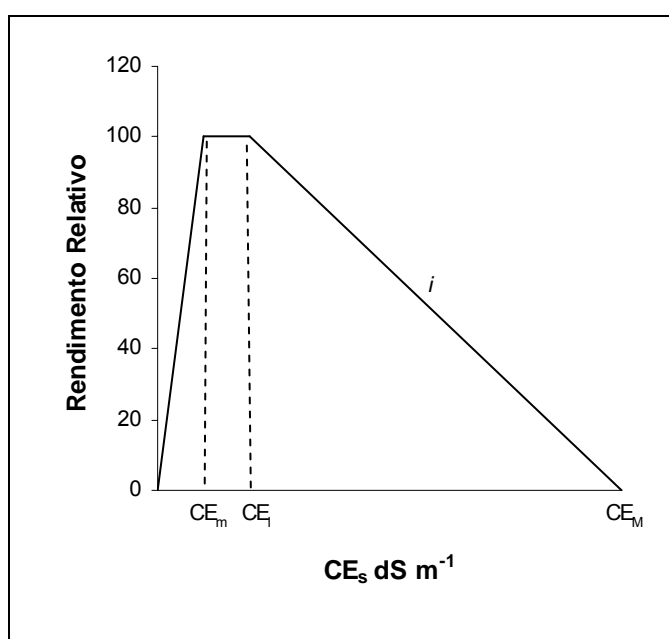
onde:

$CE_m$  = condutividade elétrica mínima dada pela concentração mínima de nutrientes necessária para crescimento ótimo,

$CE_s$  = condutividade elétrica da solução nutritiva,

$CE_M$  = condutividade elétrica máxima por cima da qual a produção é zero,

e os outros parâmetros estão descritos na anterior equação.



**Figura 2.4** – Relação entre rendimento relativo e condutividade elétrica da solução nutritiva.

Este modelo explica melhor a resposta dos cultivos sem solo aos aumentos na concentração da solução nutritiva. Nesses cultivos, a CE está determinada principalmente pelos macronutrientes. No entanto, nos cultivos em solo, estes nutrientes (especificamente N, P e K) têm somente efeito reduzido sobre o CE da rizosfera e a resposta aos nutrientes adicionados na parte ascendente da curva está mascarada pela capacidade tampão de nutrientes.

## 2.5 Mecanismos de resistência vegetal à salinidade

Embora os termos "resistência" e "tolerância" ao sal sejam geralmente usados de forma indistinta, o termo mais genérico de "resistência ao sal" pode ser uma escolha mais apropriada desde que, como ficará claro daqui em diante, o termo "tolerância" implica tolerância celular. Isto pode não ser sempre completamente correto porque as plantas, em particular as glicófitas, usam mecanismos de "evitar" tais como a relocação de  $\text{Na}^+$  da torrente do xilema às raízes. Os citros, por exemplo, são mais "excludentes" que "tolerantes" aos íons nas folhas (Storey & Walker, 1999; Larcher, 2000).

Embora as plantas halófitas tenham maior resistência à salinidade que as glicófitas, a maioria das suas enzimas são tão sensíveis à salinidade quanto as destas; portanto, todas as plantas necessitam desenvolver mecanismos para reduzir a concentração de sal no citoplasma e, mais importante ainda, nos cloroplastos (Larcher, 2000).

Os mecanismos fisiológicos de resistência vegetal ao estresse salino podem ser divididos em duas amplas categorias:

- 1) Exclusões parciais do excesso de íons, acompanhado ou não de síntese de solutos orgânicos não danosos em altas concentrações ao metabolismo celular, para deprimir o potencial interno de solutos (plantas *íon-excludentes*) e
- 2) Inclusão de íons tóxicos dentro do vacúolo, que ao mesmo tempo em que os retira do citoplasma onde podem ser deletérios para a célula, contribui para diminuir o potencial de água da mesma; esta inclusão é acompanhada de acumulação de solutos orgânicos no

citoplasma para compensar pela diferença em potencial de água (plantas *íon-acumuladoras* ou *íon-incluidoras*).

Este último mecanismo é muito eficiente na conservação de energia e é usado por muitas plantas halófitas, que podem assim acumular concentrações de até 1710 mM de NaCl no protoplasto. No entanto, nas células das glicófitas essa concentração é 10 vezes inferior. A inclusão no vacúolo é obtida por ação de ATPases e pirofosfatases que geram o potencial eletroquímico necessário para o transporte secundário de íons, via (em parte) transportadores antiporte  $\text{Na}^+ - \text{H}^+$  como o *Arabidopsis* AtNHX1. Os solutos orgânicos produzidos e acumulados no citoplasma compreendem aminoácidos, aminas (prolina, alanina, glutamina, asparagina), compostos quaternários de amônio (glicina betaína) e vários açúcares e polióis (manitol, sorbitol).

Ao mesmo tempo, tanto os aminoácidos como os carboidratos solúveis colaboram na proteção das membranas celulares e proteínas contra os efeitos nocivos da alta concentração iônica; isto é, funcionam como *osmorreguladores* e *osmoprotetores*.

No entanto, o primeiro mecanismo é utilizado por plantas sensíveis, evitando que íons potencialmente danosos cheguem às folhas. Desde que este tipo de íons, tais como o sódio, pode se incorporar às raízes de forma passiva seguindo um gradiente de potencial eletroquímico, as células radiculares devem usar energia para transferir de volta estes íons à solução externa. Isto é alcançado, no caso do sódio, através de um transportador de membrana do tipo antiporte, produto do gene *SOS1* (*salt overly sensitive 1*, excessivamente sensível ao sal 1). Este transportador é regulado por produtos de outros dois genes, *SOS2* e *SOS3*. O produto do primeiro, uma serina/treonina quinase, é ativado por aquele do segundo, uma fosfatase que por sua vez é regulada por cálcio. No entanto, algumas plantas resistentes à salinidade do tipo íon-excludentes, não eliminam tais íons em nível da raiz, mas através de glândulas posicionadas na superfície das folhas.

As plantas utilizam substâncias orgânicas como as já citadas (glicina betaína, prolina, sorbitol, sacarose, etc.) no vacúolo e no citoplasma para diminuir seu potencial de solutos e conseqüentemente o potencial de água da folha, processo que usa uma quantidade considerável de carbono (até 10% do peso total da planta). Esta diversão do carbono, embora não ponha em perigo a sobrevivência da planta, pode diminuir o rendimento agrícola (Salisbury & Ross, 1991; Dvorák *et al.*, 1992;



Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2004), tal como é confirmado por vários autores (Ayers & Westcot, 1985; De Pascale *et al.*, 1997; Karam *et al.*, 1997; Plaut, 1997; Karam *et al.*, 1998; Schwarz & Kuchenbuch, 1998; Soria & Cuartero 1998; Stanghellini *et al.*, 1998; Beltrão *et al.*, 2000; De Pascale & Barbieri, 2000; De Pascale *et al.*, 2000; Lovelli *et al.*, 2000; Hohjo *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2001).

Devido ao fato que o volume do citoplasma de uma célula madura é muito menor que o do vacúolo, a quantidade de carbono necessária para a síntese de compostos orgânicos é também muito menor em plantas *íon-incluidoras* que em as *íon-excludentes*.

O exemplo mais conspícuo de plantas com principalmente o primeiro tipo de mecanismo são os cereais e seus parentes selvagens resistentes à salinidade, que excluem parcialmente da parte aérea da planta e em conseqüência do aparato fotossintético os íons em excesso, embora de algum modo empreguem também o segundo tipo do mecanismo de defesa (Storey *et al.*, 1985) (Wyn Jones & Storey, 1981; Gorham *et al.*, 1986; Grumet & Hanson, 1986; Shah *et al.*, 1987; Schachman *et al.*, 1989; *apud* Dvorák *et al.*, 1992).

## 2.6 Efeitos da salinidade na batata

A condutividade elétrica crítica ( $C_{50}$ ) para um extrato aquoso de saturação de solo (EAS) ou uma solução nutritiva é definida como o valor de condutividade elétrica (CE) no qual o rendimento da cultura é reduzido em 50% (Shannon & Grieve, 1999). Larcher (2000) qualifica a batata como espécie moderadamente resistente à salinidade do solo, esperando-se 50% de redução no seu rendimento com um conteúdo de sal de 0,3% da massa seca do mesmo, o que corresponde a uma condutividade elétrica (CE) do EAS de 6,0-6,5 dS m<sup>-1</sup> (CE crítica). Considera esta espécie mais sensível que o tomate à salinidade, cuja CE crítica está ao redor de 9,5-10 dS m<sup>-1</sup>, apesar de colocá-lo também dentro da mesma categoria de resistência.

Karam *et al.* (1998) encontraram que o efeito do estresse salino, de águas de irrigação salinas com condutividades elétricas entre 2,3 e 3,6 dS m<sup>-1</sup>, foi de reduzir a superfície foliar da planta de batata e conseqüentemente sua biomassa aérea. A salinidade obtida com a adição de NaCl e CaCl<sub>2</sub> (1:1 em peso) até valores de 6,5 dS m<sup>-1</sup> diminui o crescimento da parte aérea e dos tubérculos. Além disso, acelerou

a maturação e reduziu o tamanho de tubérculos sem afetar seu número nem qualidade. Ao mesmo tempo, não provocou danos foliares e manteve baixo o nível de  $\text{Na}^+$  foliar (Shannon & Grieve, 1999). Heuer & Nadler (1995) enfatizam o fato que a salinidade melhorou marcadamente o índice de colheita. Este efeito foi também constatado por Nadler & Heuer (1995), que ao mesmo tempo verificaram melhora na qualidade comercial dos tubérculos com salinidades de até  $6 \text{ dS m}^{-1}$ , devido à redução da percentagem não comercial dos mesmos.

O desenvolvimento da planta de batata também é afetado pela salinidade; Levy *et al.* (1993) encontraram que tratamentos salinos até níveis de  $7,0 \text{ dS m}^{-1}$  atrasaram a emergência e o desenvolvimento da raiz e da parte aérea desta cultura.

Uma das variáveis empregadas para estimar o desenvolvimento das plantas cultivadas é o filocrono, definido como o intervalo de tempo entre o aparecimento de folhas sucessivas em um mesmo caule ou haste (Wilhelm & McMaster, 1995). Em batata, o filocrono foi determinado por Cao & Tibbits, (1995), os quais apontaram valores de 21,1 a 23,4 graus-dia por folha em condições normais de cultivo.

A concentração das soluções nutritivas usadas no cultivo hidropônico de hortaliças varia entre  $1,5$  e  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$  (Castellane & Araujo, 1995; Martinez & Silva Filho, 2004) e especificamente para minitubérculos de batata, os valores relatados na literatura estão ao redor de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$  (Godoi *et al.*, 2003; Andriolo *et al.*, 2005).

Entretanto, na cadeia de multiplicação da batata a partir da cultura *in vitro* é realizada uma primeira etapa com o plantio de plântulas, seguida de uma ou mais etapas de propagação de minitubérculos. As plântulas e os minitubérculos diferem, entre outras características, pelo nível de reservas de assimilados disponíveis para o crescimento logo após o plantio. O efeito de condições estressantes de origem salina no crescimento inicial desses dois materiais de propagação ainda não foi descrito na literatura.

Os níveis limiares de salinidade são aqueles após os quais a produtividade decresce com o aumento da concentração salina. Estes podem ser tão baixos como  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$  para feijão (Plaut, 1997), subindo a  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$  para alface (Ayers *et al.*, 1951),  $2,0$  a  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$  para tomate (Maas, 1986; Saranga *et al.*, 1991) e chegando a  $4,1 \text{ dS m}^{-1}$  para aspargo (Shannon & Grieve, 1999).

Na cultura de batata cultivada em solo para produção comercial de tubérculos, o limiar é  $1,6$ - $1,7 \text{ dS m}^{-1}$  (Maas & Hoffman, 1977; Lima, 1997; Reis Jr. *et al.*, 1999). Os autores citados também informaram que em culturas conduzidas no

solo, as porcentagens de redução da produtividade por cada unidade de incremento na condutividade elétrica acima dos níveis limiares, foram 13% para alface, 9-10% para tomate, 2% para aspargo e 12% para batata. No entanto, resultados de Van Hoorn *et al.* (1993) indicam uma redução para esta última cultura de somente 7%.

No que diz respeito à classificação da batata segundo seus mecanismos fisiológicos de resistência à salinidade, Heuer & Nadler (1998) a consideram como uma espécie capaz de excluir o sódio do interior das células, pois não encontraram aumento na concentração deste elemento nos órgãos desta planta em decorrência dos tratamentos salinos de seu experimento. Estes mesmos autores encontraram aumento gradual significativo no conteúdo de prolina nas folhas nos tratamentos salinos e partição de assimilados preferencialmente para os tubérculos em decorrência do estresse hídrico, confirmando resultados de trabalhos precursores neste respeito da década de 1980 (Levy *et al.*, 1988) e posteriores (Nadler & Heuer, 1995). A contribuição da prolina chegou a 29% do total do ajuste osmótico.

### 3. CAPÍTULO I

#### **Concentration of the nutrient solution in the hydroponic production of potato minitubers**

Abstract – The objective of this work was to determine the effect of the nutrient solution concentration on potato plant growth and minituber yield. A standard nutrient solution was prepared with, in  $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $13.0 \text{ NO}_3^-$ ;  $1.5 \text{ H}_2\text{PO}_4^-$ ;  $1.5 \text{ SO}_4^{--}$ ;  $4.0 \text{ Ca}^{++}$ ;  $6.5 \text{ K}^+$  and  $1.5 \text{ Mg}^{++}$ , at an electrical conductivity (EC) of  $1.0 \text{ dS m}^{-1}$  (T1). Treatments were four additional nutrient solution concentrations, calculated by coefficients of 2.0 (T2), 3.0 (T3), 4.0 (T4) and 5.0 (T5) from T1. Planting was made on March 24<sup>th</sup>, 2004, in a completely randomized split-plot 5 x 2 experimental design, with plantlets and minitubers as sub-plots. At 49 days after planting, mean mass of fresh tubers, shoot and tuber dry mass, tuber:shoot ratio and leaf area index differed from plantlets and minitubers. Increasing the nutrient solution concentration through multiples quantities of the constituting salts has no effect on tuber yield and tuber/shoot ratio. Plantlets and minitubers can be propagated in low nutrient solution concentrations of electrical conductivity values of  $1.0 \text{ dS m}^{-1}$ .

Index terms: *Solanum tuberosum*, plantlets, minitubers, electrical conductivity.

#### **Concentração da solução nutritiva na produção hidropônica de minitubérculos de batata**

Resumo – O objetivo deste trabalho foi determinar o efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento das plantas e rendimento de minitubérculos de batata. Foi preparada uma solução nutritiva com concentrações de, em  $\text{mmol L}^{-1}$ ,  $13,0 \text{ NO}_3^-$ ;  $1,5 \text{ H}_2\text{PO}_4^-$ ;  $1,5 \text{ SO}_4^-$ ;  $4,0 \text{ Ca}^{++}$ ;  $6,5 \text{ K}^+$  e  $1,5 \text{ Mg}^{++}$ , com condutividade elétrica (CE) de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  (T1). Quatro concentrações adicionais foram preparadas, calculadas por coeficientes de 2,0 (T2), 3,0 (T3), 4,0 (T4) e 5,0 (T5) a partir de T1. O plantio foi feito em 24 de março de 2004, em um delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com plântulas e minitubérculos nas subparcelas. Aos 49 dias após o plantio, a massa média dos tubérculos frescos, a massa seca da parte aérea e dos tubérculos, a relação tubérculos/parte aérea e o índice de área foliar diferiram quando oriundas de plântulas e de minitubérculos. O

aumento da concentração da solução nutritiva através de quantidades múltiplas de todos os sais fertilizantes que entram na sua composição não aumenta a produtividade e não altera a relação tubérculos/parte aérea. Plântulas e minitubérculos podem ser propagados em concentrações baixas de solução nutritiva, com valores da ordem de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ .

Termos para indexação: *Solanum tuberosum*, plântulas, minitubérculos, condutividade elétrica.

### Introduction

The potato (*Solanum tuberosum*) global production of 2005 was about 322 million t, with an average of  $17 \text{ t ha}^{-1}$  and nearly 19 million ha planted. Brazilian area under this culture was 142,000 ha with 3.1 million t of tubers and a mean of  $22 \text{ t ha}^{-1}$ . The Rio Grande do Sul has one of the biggest production areas with 26,000 ha and one of the smallest yield average, only  $12 \text{ t ha}^{-1}$  (FAOSTAT, 2005; IBGE, 2006). This fact is mainly due to the use of low quality seed by 95% of the farmers. It has been detected bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) in 100% of the plants showing symptoms in different regions of this state and virus in 42% of samples of some cultivars used as pre-basic potato seed. Therefore, high quality propagation material is needed to raise potato yield in this state (FEPAGRO, 1998; Daniels *et al.*, 2000; Martins & Couto, 2001; Medeiros, 2003).

The potato propagation follows three steps. In the first, disease-free plantlets are obtained *in vitro*. In the second phase these plantlets are planted to generate minitubers, which are then propagated for several generations during the third phase. The second and third phases have been traditionally done in soil, with low yield of 3-5 tubers per plant and high risk of diseases. To solve these problems, hydroponic systems using nutrient film technique (NFT) (Medeiros *et al.*, 2002) and aeroponics (Farran & Mingo-Castel, 2006) principles have been reported in the literature. Nevertheless, while such growing systems could reach high yields, they are costly and laborious. Substrates may also be used for this goal, combining lower installation costs and saving labour for controlling nutrient solution (Rolot & Seutin, 1999). Data from the composition and concentration of ions in the nutrient solution for this crop grown in hydroponic facilities are scarce in the literature.

Horticultural crops are usually grown in nutrient solutions with concentration ranges between 1.5 and 4.0 dS m<sup>-1</sup> (Castellane & Araujo, 1995; Martinez & Silva Filho, 2004). For potato minitubers, values reported in the literature for sand cultures were about 2.2 dS m<sup>-1</sup> (Godoi *et al.*, 2003; Andriolo *et al.*, 2005). While low concentrations may reduce growth due to lack of nutrients, concentrations higher than a threshold may lead to physiological disorders and low tuber yield. The electrical conductivity (EC) threshold after which yield is reduced (Maas & Hoffman, 1977) has been reported to be as low as 0.7 dS m<sup>-1</sup> for beans (Plaut, 1997), raising to 1.3 dS m<sup>-1</sup> for lettuce (Ayers *et al.*, 1951) and 2.0-2.5 dS m<sup>-1</sup> for tomato (Maas, 1986; Saranga *et al.*, 1991). For field grown potato plants, the threshold referred in the literature was about 1.6-1.7 dS m<sup>-1</sup> (Maas & Hoffman, 1977; Lima, 1997; Reis Jr. *et al.*, 1999). No data were found reporting the threshold level for minituber production.

The objective of this work was to determine the effect of nutrient solution concentration on plant growth and minituber yield.

### **Material and Methods**

The experimental set-up was a closed modified ebb-and-flood hydroponic system located inside a 150 m<sup>2</sup> screenhouse at the Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brazil. The system was constituted by a fibre cement tile 3.05 m long and 1.10 m wide with gullies 0.06 m high and a spacing of 0.18 m between the gullies, placed over a 3.35 m long, 1 m wide and 0.35 m high reservoir, with a slope of 1%. The inner surface of the reservoir was lined with a 100 µm black polyethylene sheet, as well as the tile gullies. These tile gullies were then filled with 0.015-0.020 m gauge gravel and a 3 m long, 1 m wide and 0.15 m high wooden frame was afterwards placed on the tile. A 0.0015 m polyethylene screen was placed above the gravel and lining the interior of the frame. The frame was then filled with coarse sand (0.001-0.03 m gauge), of 1.6 kg dm<sup>-3</sup> bulk density and 0.111 L dm<sup>-3</sup> maximum water retention capacity. Finally, the growing bed was covered by a double faced (black and white) polyethylene sheet, white side up.

The nutrient solution was prepared and stored in the reservoir under the tile. Irrigations were performed by a timer-controlled 520 L h<sup>-1</sup> submersible pump placed at the bottom of the upper end of the reservoir. When the pump was functioning, the

nutrient solution flowed up to the higher end of the growing bed, where it was transversally distributed through a 0.025 m diameter PVC pipe with holes every 0.10 m. From the higher end, the nutrient solution flooded the bed and drained down, flowing back to the reservoir.

Potato plantlets of the cv. Macaca, obtained by micropropagation and previously acclimatized, were used. Minitubers from 0.5 to 1 cm diameter of this same cultivar, produced during the previous growing season, were treated for dormancy breaking and stored at 20°C until planting. Plantlets and minitubers were planted on March 24<sup>th</sup>, 2004, at a density of 100 hills m<sup>-2</sup>.

A standard nutrient solution was prepared with, in mmol L<sup>-1</sup>: 13.0 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 1.5 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>; 1.5 SO<sub>4</sub><sup>-</sup>; 4.0 Ca<sup>++</sup>; 6.5 K<sup>+</sup> and 1.5 Mg<sup>++</sup> and, in mg L<sup>-1</sup>: 0.03 Mo; 0.26 B; 0.06 Cu; 0.50 Mn; 0.22 Zn and 1.0 Fe. It was diluted until an electrical conductivity (EC) of 1.0 dS m<sup>-1</sup> (T1) was reached. Four additional concentration levels were prepared with the concentration coefficients of 2.0 (T2), 3.0 (T3), 4.0 (T4) and 5.0 (T5). A completely randomized split-plot 5 x 2 experimental design was used, with nutrient solution concentrations as main plots and plantlets and minitubers as sub-plots. Four rows were used in each plot, with 260 hills per plot and border plants were not used for measurements.

EC of nutrient solutions were periodically checked and corrected when needed, by adding water or aliquots of a new nutrient solution (Figure 3.1). The pH were maintained at 6.0 ± 0.2 unit, by adding volumes of H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> or KOH 1N solutions, estimated by means of a titration curve.

All plants were harvested at 49 days after planting, when the oldest leaves began senescence. Leaf area index, number and fresh mass of tubers bigger than 0.5 cm were determined (Struik & Lommen, 1990). Dry mass of shoot and tubers were determined after drying samples at 60°C. Total dry mass, fresh tuber mean mass and dry tuber/shoot ratio were then estimated. Data was submitted to ANOVA and means compared by the Tukey test at 5% of error level with regression analysis when corresponding.

## Results and Discussion

For plants originated from plantlets, the tuber fresh mass and mean mass of fresh tubers showed negative linear responses by effect of the nutrient solution

concentration (Figure 3.2b). The total and tuber dry mass decreased as EC increased, closely following the Sonneveld (2004) polynomial model adjusted to explain the effects of high EC levels of the nutrient solution on growth of soilless cultures (Figure 3.2a). Maximum values were 13.0 g/pl at 2.8 dS m<sup>-1</sup> for total dry mass, and 8.7 g/pl at 3.0 dS m<sup>-1</sup> for tuber dry mass, reaching augments over T1 of 8.71% and 14.02%, respectively. These EC values were taken as the threshold level after which plant yield decreases by further increases in nutrient solution concentration (Maas & Hoffman, 1977).

Values found in the literature for commercial potato crops were between 1.6 and 1.7 dS m<sup>-1</sup> (Maas & Hoffman, 1977; Lima, 1997; Reis Jr. et al., 1999). This difference may be attributed to the developmental stage of the crop. It has been suggested by some authors that the sensitivity of potato plants to salinity is lower at the stage immediately after tuber bud initiation and increases with tuber development (Karam *et al*, 1997; Shannon & Grieve, 1999).

As the concentration of the nutrient solution was increased, the growth of plants originated from minitubers decreased (Figure 3.3). Karam *et al.* (1998) reported similar effects in a commercial potato crop irrigated with saline water with electrical conductivities between 2.3 and 3.6 dS m<sup>-1</sup>.

Yield variables of fresh tuber mean mass, tuber dry mass, shoot dry mass, tuber/shoot ratio and leaf area index reached distinct results when plantlets and minitubers were propagated (Table 3.1). Plants originated from minitubers showed higher shoot growth than that from plantlets. In fact, growth of plantlets depends only on carbon assimilation and nutrient absorption, following the balanced exponential model used to explain the shoot:root growth at vegetative phenological stages (Thornley, 1998). By this model, growth rate may be reduced either by the lack of carbon or mineral nutrients. This was not so for minitubers, which had reserves that can buffer the low nutrient availability and support initial plant growth. After the shoot and root apparatus were established from minituber reserves, the low nutrient availability might be compensated by a greater root surface for searching and absorbing nutrients. The hypothesis of plant growth being restricted by low availability of nutrient and assimilates at earlier stages of plant development of the crop originated from plantlets is supported by the polynomial-type growth response observed in Figure 3.2a. Nevertheless, the physiological stage of plantlets at planting date may influence its further growth.

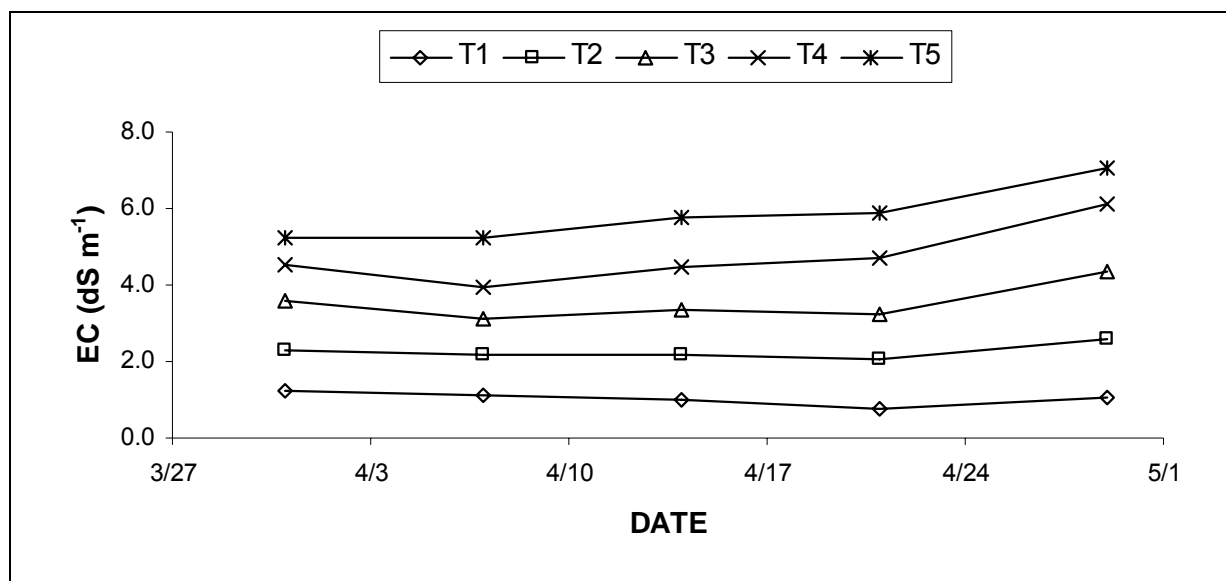


The major goal in the potato seed production is to maximize the number of tubers per area. The observed average number of 593 minitubers  $\text{m}^{-2}$  has a correspondent yield of 96% of Rolot & Seutin (1999) and 116% of Medeiros *et al.* (2002) in gravel NFT and 74% of Farran & Mingo-Castel (2006) in aeroponics.

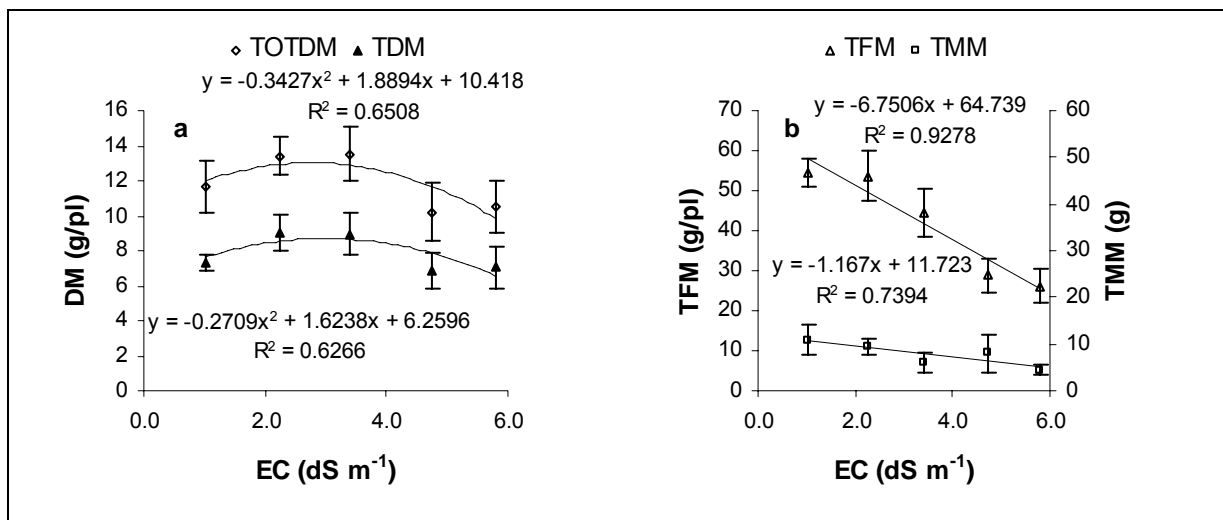
The higher values of tuber fresh mass recorded for both reproductive materials at low nutrient solution concentration was surprising, as electrical conductivities in the range between 1.5 and 4.0  $\text{dS m}^{-1}$  have been indicated for better growth and yield of horticultural crops (Castellane & Araujo, 1995; Martinez & Silva Filho, 2004). The main hypothesis to explain such result is the growth of roots into the sand layer. The reservoir had a volume of nutrient solution of about 2 L/plant, similar to that prescribed for NFT growing systems. Nonetheless, the volume of growing medium available for root growth was higher than that in NFT or in classical bag substrate culture. This implies that the low concentration of the nutrient solution might have been compensated by a greater root surface to absorb water and nutrients. In fact, the presented setup represents an intermediate growing system between NFT and soil, where plants are able to grow at lower nutrient concentrations. On the other hand, the decrease in fresh mass at increasing levels of nutrient solution concentration illustrates the effect of salinity on water absorption by plants. Munns (2002) reported that salinity has similar effects to drought and saline water has been used to restrict plant growth of fruiting horticultural crops (Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999). The use of this practice to increase tuber/shoot ratio in the hydroponic production of potato tuber seeds is a subject for future research.

### Conclusions

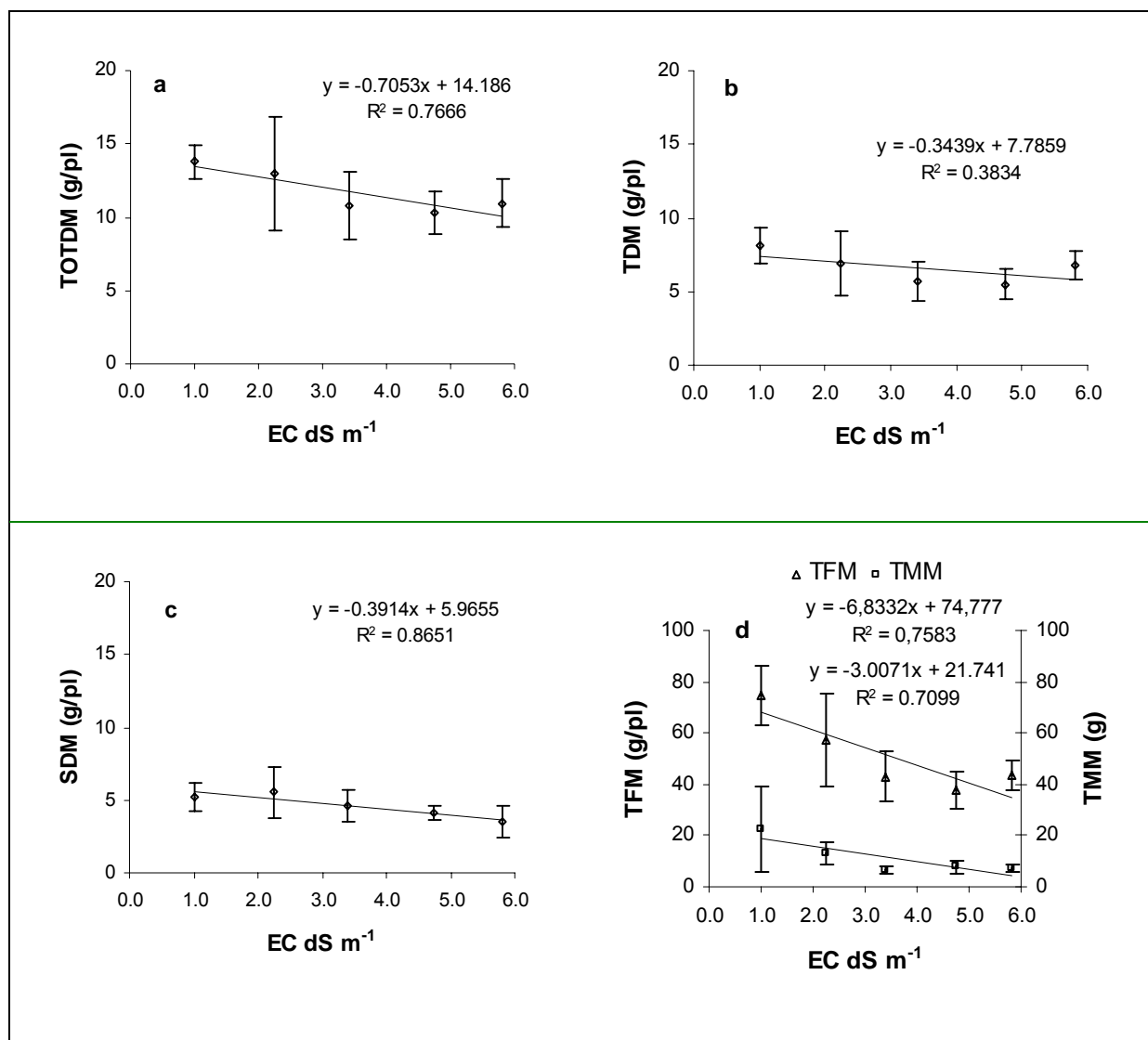
- Increasing the saline concentration of the nutrient solution used in the hydroponic propagation of potato through multiples quantities of the constituting salts does not increase tuber yield and has no effect on the tuber/shoot ratio.
- Low nutrient solution concentrations at electrical conductivity values of 1.0  $\text{dS m}^{-1}$  may be used in the hydroponic propagation of potato from plantlets and minitubers.



**Figure 3.1** – Electrical conductivities (EC) of nutrient solutions used as concentration treatments (T1, T2, T3, T4 and T5) for potato minituber production, weekly averaged. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.



**Figure 3.2** – Total dry mass (TOTDM) and dry mass of tubers (TDM) (a); tuber fresh mass (TFM) and mean mass of fresh tubers (TMM) (b) produced by potato plantlets as propagation material at increasing nutrient solution concentration levels. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.



**Figure 3.3** – Total dry mass (TOTDM, a), dry mass of tubers (TDM, b) and shoot dry mass (SDM, c); tuber fresh mass (TFM) and mean mass of fresh tubers (TMM) (d) produced by potato minitubers as propagation material at increasing nutrient solution concentration levels. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.

**Table 3.1** – Means of number of tubers (TN), mean mass of fresh tubers (TMM), dry mass of tubers (TDM), shoot dry mass (SDM), tuber/shoot ratio (TSR) and leaf area index (LAI) of potato plants grown from plantlets and minitubers as propagation materials in five nutrient solution concentration levels. UFSM, Santa Maria-RS, 2004\*.

	TN/pl	TMM (g)	TDM (g/pl)	SDM (g/pl)	TSR	LAI (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
Plantlets	6.12a	7.558b	7.825a	3.684b	2.29a	10.89b
Minitubers	5.74a	11.390a	6.602b	4.618a	1.51b	12.46a
C.V. %	36.08	35.01	5.55	29.81	32.18	40.09

\* Means followed by different letters in the column differed by the F-test (P<0.05).

## 4. CAPÍTULO II

### Hydroponic production of potato tubers at different NaCl concentrations

Abstract – The goal of this work was to determine the effects of NaCl additions to the nutrient solution on growth, development and tuber yield of potato plants. A standard nutrient solution was prepared with, in  $\text{mmol L}^{-1}$ , 13.0  $\text{NO}_3^-$ ; 1.5  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; 1.5  $\text{SO}_4^-$ ; 4.0  $\text{Ca}^{++}$ ; 6.5  $\text{K}^+$  and 1.5  $\text{Mg}^{++}$  and used as control. Treatments were three salinity levels, reaching electrical conductivities (EC) of 2.2  $\text{dS m}^{-1}$  (T1, control), 4.2 (T2), 6.2 (T3) and 8.2  $\text{dS m}^{-1}$  (T4). Planting was done on September 24<sup>th</sup>, 2004, in a completely randomized split-plot 4 x 2 experimental design, with plantlets and minitubers as sub-plots. The experiment ended 62 days later. Tuber/shoot ratio was increased 3 to 4.3 times in plantlets and minitubers, respectively. High NaCl concentrations delay plant development, reduce shoot growth and favour tuber growth and yield.

Index terms: *Solanum tuberosum*, plantlets, minitubers, tuber/shoot ratio.

### Produção hidropônica de tubérculos de batata com diferentes concentrações de NaCl

Resumo – O objetivo do trabalho foi determinar os efeitos da adição de NaCl à solução nutritiva no crescimento, desenvolvimento e rendimento de tubérculos em plantas de batata. Foi preparada uma solução nutritiva padrão com, em  $\text{mmol L}^{-1}$ , 13,0  $\text{NO}_3^-$ ; 1,5  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; 1,5  $\text{SO}_4^-$ ; 4,0  $\text{Ca}^{++}$ ; 6,5  $\text{K}^+$  e 1,5  $\text{Mg}^{++}$   $\text{mmol L}^{-1}$ , que foi usada como testemunha. Os tratamentos foram três níveis de salinidade, alcançando condutividades elétricas (EC) de 2.2  $\text{dS m}^{-1}$  (T1, testemunha), 4.2 (T2), 6.2 (T3) e 8.2  $\text{dS m}^{-1}$  (T4). O plantio foi realizado em 24 de setembro de 2004 em um delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com plântulas e minitubérculos nas subparcelas. O experimento terminou 62 dias mais tarde. A relação tubérculos/parte aérea aumentou 3 a 4,3 vezes nas plântulas e nos minitubérculos, respectivamente. A elevação da salinidade com NaCl atrasa o desenvolvimento da planta, reduz o crescimento da parte aérea e favorece o crescimento e a produtividade de tubérculos.

Termos para indexação: *Solanum tuberosum*, plântulas, minitubérculos, relação tubérculos/parte aérea

## Introduction

Excessive shoot growth is an undesirable characteristic of hydroponic potato tuber production. At high leaf area, the consumption of nutrient solution by plants is increased and a training device has to be displayed on the canopy to prevent plant lodging. Decreasing shoot growth without reducing tuber yield is a matter of interest in this production system.

Salinity is a practice that has been used to reduce vegetative growth of horticultural crops grown in hydroponics (Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999). Salinity forces plants to use more energy for water uptake and to adjust biochemical processes (Rhoades *et al.*, 1992). Its effects on plants were attributed to: a) osmotic effects, determined by the soil or nutrient solution osmotic pressure, which are similar to those from drought stress and b) ion specific effects (Munns, 2002; Sonneveld, 2004). The osmotic effects lead firstly to disturbances in the plant water flux and later to the production of biochemical signals (hormones), reducing growth of the whole plant (Karam *et al.*, 1997; Heuer & Nadler, 1998; Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999; Munns, 2002). While the osmotic effects have been considered as affecting plant growth more drastically, those from specific ions are secondary and delayed over time (Plaut, 1997; Medeiros, 2001; Munns, 2002). To the effects of particular ions have been attributed influences on uptake and assimilation of essential nutrient ions and toxicity caused by excessive uptake of an osmotically active ion (Medeiros, 2001; Sonneveld, 2004).

In potato plants, salinity reduces shoot and tuber growth and hastens maturity, affecting tuber size but not tuber number (Shannon & Grieve, 1999). In tomato, though root mass accumulation was negatively affected by salinity, root growth was less influenced than shoot growth, so root/shoot ratio was higher in salt-stressed than in non-stressed plants (Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999). Similar effects were found by Jefferies (1993) on drought stressed potato plants, concluding that water stress after tuber initiation enhanced dry mass partition to tubers and hastened maturity and by Heuer & Nadler (1995), whose salinity treatments markedly improved harvest index of potato.

Schwarz (2003) supplied young tomato plants a basic nutrient solution supplemented with either sodium chloride or macronutrients to increase its EC up to

9 dS m<sup>-1</sup>. This author found that NaCl reduced shoot dry matter and number of laterals, as compared to the macronutrient treatment.

The goal of this work was to determine the effects of NaCl concentration in the nutrient solution on development, growth and tuber yield of potato plants as a practice to enhance tuber/shoot ratio.

### Material and Methods

It was used the same experimental set-up and location described in chapter 1. The standard nutrient solution had the following composition, in mmol L<sup>-1</sup>: 13.0 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 1.5 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>; 1.5 SO<sub>4</sub><sup>-</sup>; 4.0 Ca<sup>++</sup>; 6.5 K<sup>+</sup> and 1.5 Mg<sup>++</sup> and, in mg L<sup>-1</sup>: 0.03 Mo; 0.26 B; 0.06 Cu; 0.50 Mn; 0.22 Zn and 1.0 Fe.

A completely randomized split-plot 4 x 2 experimental design was used, with salt concentrations as main plots and plantlets and minitubers as sub-plots. Four rows were used in each plot, with 260 hills per plot and border plants were not used for measurements.

Potato plantlets and minitubers of the cv. Macaca, obtained by micropropagation and previously acclimatized, were used. Minitubers from 0.5 to 1 cm diameter of this same cultivar, produced during the previous growing season, were treated for dormancy breaking and stored at 20°C until planting. Plantlets and minitubers were planted on September 24<sup>th</sup>, 2004, at a density of 100 hills m<sup>-2</sup>.

The electrical conductivity (EC) of the standard nutrient solution was 2.2 dS m<sup>-1</sup>. The control (T1) was the standard nutrient solution, without addition of sodium chloride. The additional treatments were three salinity levels, obtained by adding quantities of commercial NaCl (SALSUL®) to the standard nutrient solution, estimated from a calibration curve previously determined in laboratory between the concentration of NaCl and the electrical conductivity of the nutrient solution (Figure 4.1):

$$\text{NaCl (g L}^{-1}\text{)} = 0.7488 \times [\text{desired EC (dS m}^{-1}\text{)} - \text{measured EC (dS m}^{-1}\text{)}] - 0.136$$

Target EC values were 4.2; 6.2 and 8.2 dS m<sup>-1</sup> for T2, T3 and T4. EC of nutrient solutions were daily checked and corrected when needed, by adding water or NaCl (Figure 4.2). The pH were maintained at 6.0 ± 0.2 unit, by adding volumes of



H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> or KOH 1N solutions, estimated by means of a titration curve. The actual EC values averaged over the experimental period were 2.4; 4.1; 5.8 and 7.8 dS m<sup>-1</sup>, respectively. Saline treatments were delivered to plants after emergency was recorded on 50% of tubers.

The number of leaves on the main stem of five selected plants of every minituber plot was recorded every 3-4 days, beginning when 50% of the plants were emerged until the end of the experimental period. A leaf was counted when it was longer than 1 cm. These data was used to determine the phyllochron (PH) (Cao & Tibbits, 1995), defined as the time interval between the appearances of successive leaves and estimated by the inverse of the slope of the linear regression of leaf number vs. accumulated growing degree days (heat sum, HS).

The experiment was ended at 62 days after planting, when the oldest leaves began senescence. Number and fresh mass of tubers bigger than 0.5 cm was determined (Struik & Lommen, 1990). Dry mass of shoot and tubers were determined after drying at 60°C until constant weights were reached. Total dry mass was obtained by the sum of shoot and tuber dry mass. Tuber mean fresh mass and tuber/shoot ratio were determined.

Daily maximum and minimum air temperatures were recorded at the Climatological Station located at about 100 m from the experimental area. Daily growing degree-days (°Cd) during the experimental period were calculated by means of the formula reported by Hermes *et al.* (2001):

$$^{\circ}\text{Cd} = ((T_m + T_M)/2) - T_b, \text{ where}$$

T<sub>m</sub> = minimum daily temperature

T<sub>M</sub> = maximum daily temperature

T<sub>b</sub> = base temperature, assumed as 4°C (Hartz & Moore, 1978).

If  $(T_m + T_M)/2 < T_b$ , then  $(T_m + T_M)/2 = T_b$ .

Each °Cd so obtained was then summed to have the HS over the period.

All recorded data was submitted to ANOVA and means compared by the Tukey test at 5% of error level with regression analysis when corresponding.

## Results and Discussion

The ANOVA of the results of the phyllochron and the heat sum to the end of the vegetative stage at different levels of EC of the nutrient solution showed different effects ( $P < 0.002$ ) with a low coefficient of variation (8.22% and 12.79%, respectively). Therefore, a linear regression analysis was carried out, which showed a not significant lack of fit ( $P < 0.05$ ), consequently being appropriate to explain the relationship between the two variables (Figure 4.3a,b). The angular coefficient of the regression shows that the phyllochron increases 1.16 °Cd/leaf for each EC unit increase in  $\text{dS m}^{-1}$ . As a result, the values of the phyllochrons varied from 22.7 °Cd/leaf for treatment 1 ( $\text{EC} = 2.4 \text{ dS m}^{-1}$ ) up to 29.0 °Cd/leaf for treatment 4 ( $\text{EC} = 7.8 \text{ dS m}^{-1}$ ). Similar effects were reported by Maas & Grieve (1990) for wheat, which showed an increase in phyllochron with increasing salinity and a decrease of the duration of the reproductive phase and by Levy *et al.* (1993), who verified a delay in shoot development of potato plants. The phyllochron value of treatment 1 was in the range of 21.1-23.4 °Cd/leaf found by Cao & Tibbits (1995) for the first 21-day period of their crop, considered by them as the beginning of tuber initiation.

The average leaf number at the end of the experiment was 14.7 leaves per plant, without significant differences among treatments. So the accumulated thermal time ranged from 335.7 °Cd for treatment 1 up to 428.0 °Cd for treatment 4. Therefore, a 28% delay in plant development was found, indirectly affecting growth and yield.

Fresh and dry mass of tubers and tuber/shoot ratio were higher when plantlets were used as propagation material. When minitubers were used, shoot and total dry mass of plants were higher (Table 4.1).

Polynomial equations were adjusted for fresh mass and mean mass of tubers for both propagation materials (Figure 4.4). Maximum tuber fresh mass estimated values were 4064  $\text{g m}^{-2}$  from plantlets (Figure 4.4a) and 3347  $\text{g m}^{-2}$  from minitubers (Figure 4.4b), at EC values of 4.4  $\text{dS m}^{-1}$  and 4.8  $\text{dS m}^{-1}$ , respectively. These values were the salt effect threshold. An increase in tuber fresh mass of 24% and 55.4% were recorded from the control without NaCl to the threshold for plantlets and minitubers, respectively. A yield decline of 59.5% and 56.3% was recorded between the threshold and the minimum yield value at the highest EC for plantlets and

minitubers, respectively, indicating that fresh mass of tubers were reduced in a similar way in both materials. For tuber mean mass, maximum estimated values were 6.9 g for plantlets (Figure 4.4c) and 6.4 g for minitubers (Figure 4.4d), at 4.5 dS m<sup>-1</sup> and 5.6 dS m<sup>-1</sup>, respectively. The percentage of decline was 47.8% and 17.2%, respectively, indicating that tuber mean mass was more reduced by salinity when plantlets were used.

Shoot dry mass of plantlets and minitubers were linearly reduced by salinity. (Figure 4.5a,b). Dry mass of tubers showed polynomial patterns. The maximum estimated value was 706 g m<sup>-2</sup> at a threshold of 4.7 dS m<sup>-1</sup> for plantlets (Figure 4.5c) and 491 g m<sup>-2</sup> at a threshold of 4.9 dS m<sup>-1</sup> for minitubers (Figure 4.5d). The percentage decline between the threshold and the minimum yield value was 67.3% and 59.3%, respectively. Total plant dry mass increased in a polynomial pattern until the threshold of 3.6 dS m<sup>-1</sup> for plantlets, decreasing thereafter 71.6% till the minimum production at 7.8 dS m<sup>-1</sup> (Figure 4.5e). For minitubers, a linear decline was found (Figure 4.5f). Tuber/shoot ratio showed polynomial patterns (Figure 4.6) and was in mean four times higher in plantlets than in minitubers (Table 4.1). For plantlets, the maximum estimated value was 2.84 at 7.6 dS m<sup>-1</sup> (Figure 4.6a). For minitubers, the maximum estimated value was 0.78, reached at an EC of 5.3 dS m<sup>-1</sup> (Figure 4.6b).

The salinity effect in reducing growth was greater in shoot than in tubers, which agree with the literature of different horticultural crops (Alhag Dow *et al.*, 1999; Cuartero & Fernández-Muñoz, 1999). As a consequence, the tuber/shoot ratios were enhanced 3 and 4.3-fold in plantlets and minitubers, respectively, from the minimum to the threshold electrical conductivities. This effect can be explained by greater amounts of assimilates being available for tuber growth. In fact, although shoot growth was reduced by salinity, the LAI was high enough to intercept radiation without a greater reduction in photosynthesis. It was reported in the literature that after the LAI of the crops reached saturation, the leaf surface could be reduced with minor effects on absorption of radiation by the canopy. Indeed, Stanghellini & de Jong (1995), estimated that a 30% decrease in the 4.5 optimum LAI of greenhouse crops reduced only 10% the absorption of radiation by the canopy and Li & Stanghellini (2001), found a reduction of 20% in LAI of a tomato crop by EC values from 2 to 9.5 dS m<sup>-1</sup> with a reduction in radiation interception of less than 8%.

In the commercial propagation of the potato crop, plantlets from *in vitro* culture are initially hydroponically grown to obtain minitubers, which are further multiplied

by two or more propagation cycles. Considering that at least three growing cycles are performed during the year, minituber yield may be increased by about 135% by simply adding NaCl to the nutrient solution, at a rate of 1.362 and 1.661 g L<sup>-1</sup> for plantlets and minitubers, respectively. This is a low cost practice that may be used to stimulate yield.

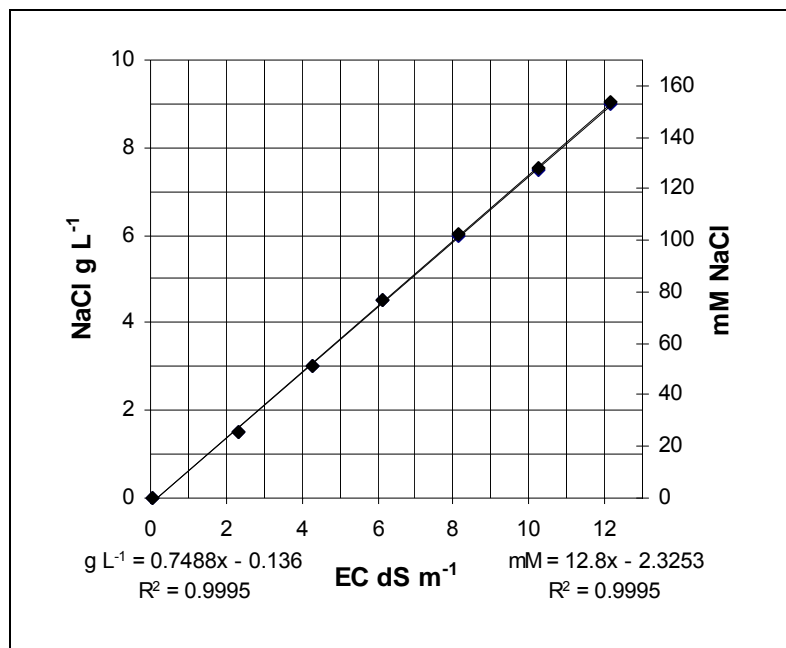
### **Conclusions**

- Increasing salinity of the nutrient solution delays plant development.
- Shoot growth is linearly reduced and tuber growth increased up to a threshold, leading to higher tuber/shoot ratio;
- The addition of NaCl in the nutrient solution is a practice that could be adopted to reduce leaf area and nutrient solution uptake.

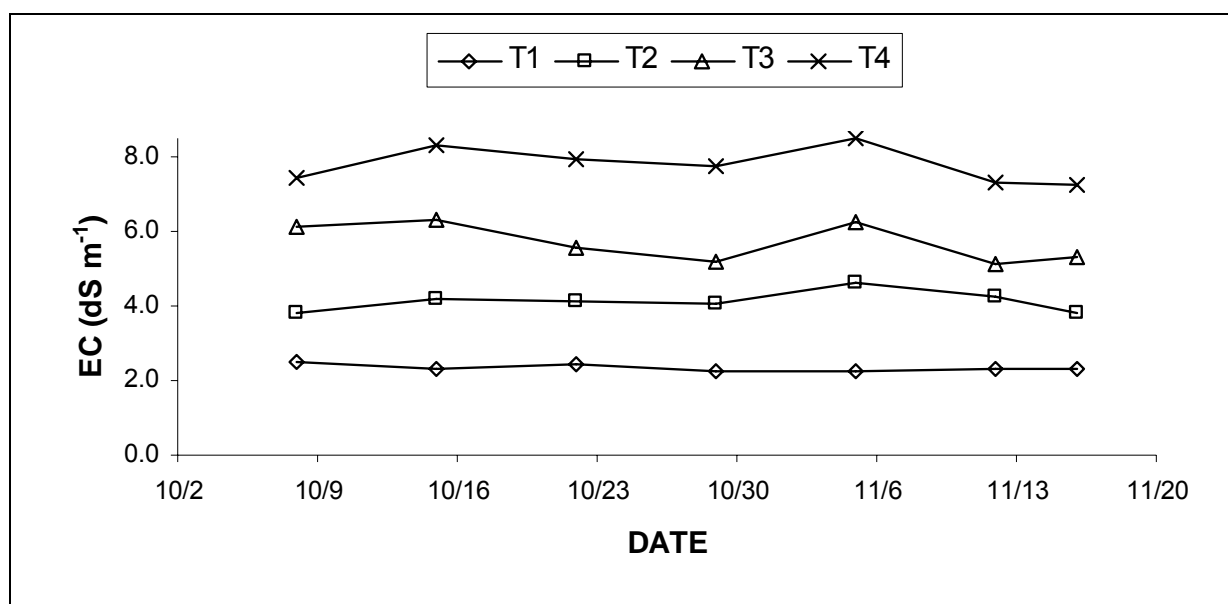
**Table 4.1** – Means of number of tubers (TN), tuber fresh (TFM) and dry mass (TDM), shoot (SDM) and total dry mass (TOTDM) and tuber/shoot ratio (TSR) of potato plants grown from plantlets and minitubers as propagation materials in four NaCl salinity levels of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004\*.

Material	TN m <sup>-2</sup>	TFM (g m <sup>-2</sup> )	TDM (g m <sup>-2</sup> )	SDM (g m <sup>-2</sup> )	TOTDM (g m <sup>-2</sup> )	TSR
Plantlets	593a	3164a	502a	335b	898b	2.01a
Minitubers	591a	2504b	359b	870a	1362a	0.51b
C.V. %	42.11	26.26	29.93	23.98	9.28	44.10

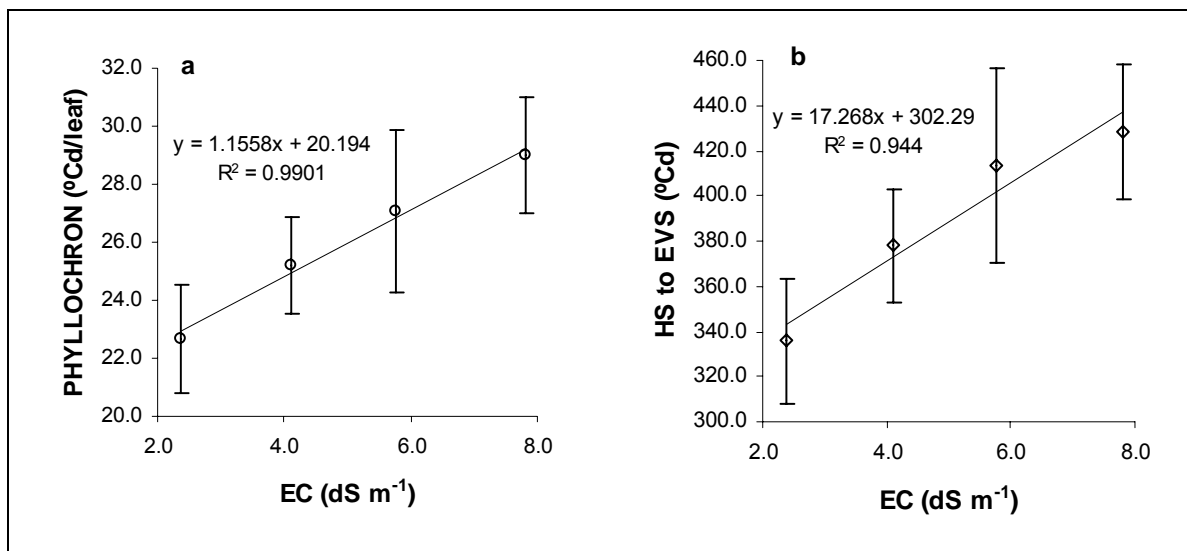
\* Means followed by different letters in the column differed by the F-test (P<0.05).



**Figure 4.1** – Relationship between quantities of NaCl used in the experiment (SALSUL®) and electrical conductivity (EC) of the aqueous solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.

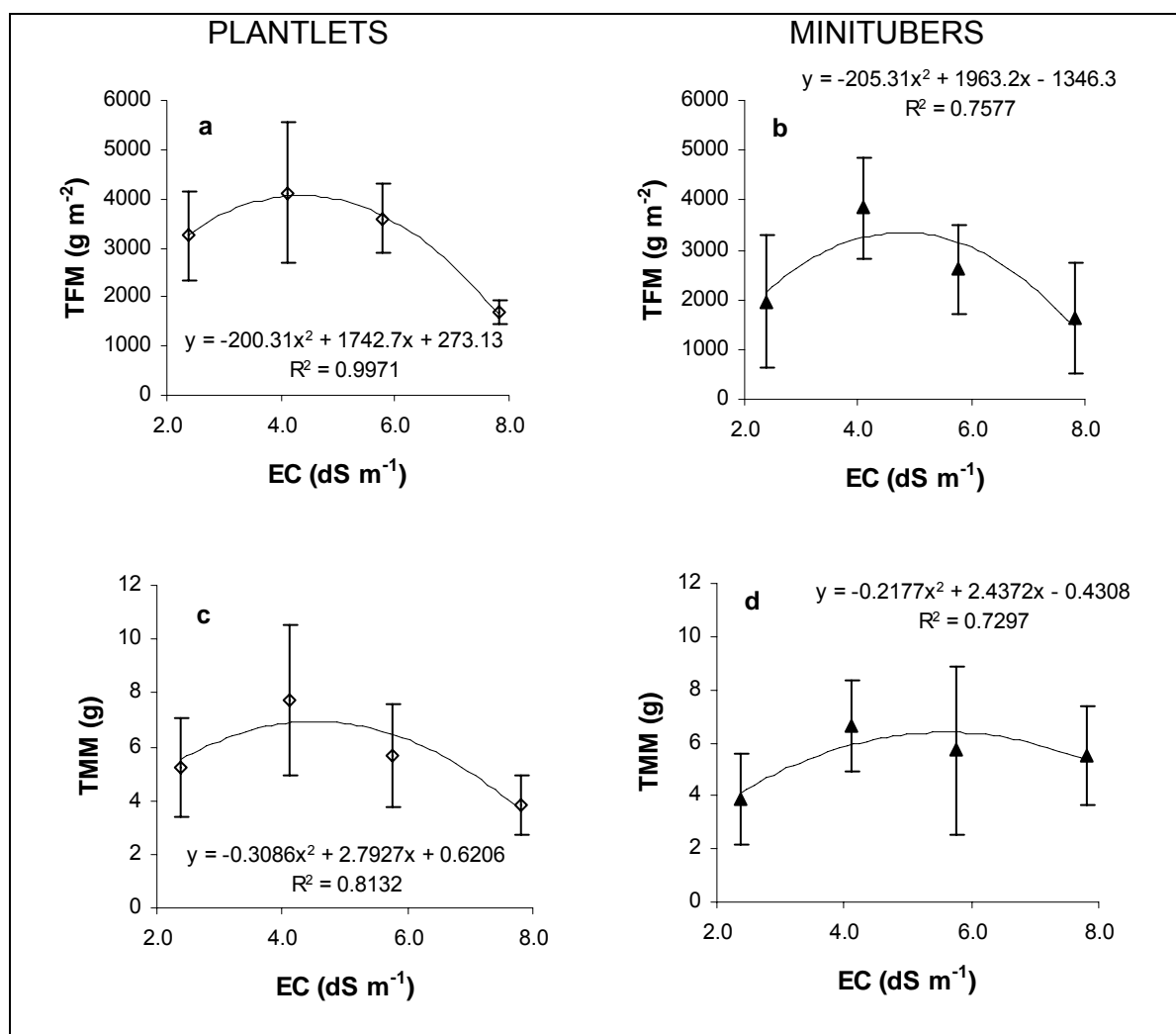


**Figure 4.2** – Electrical conductivities (EC) of nutrient solutions used as salinity treatments (T1, T2, T3 and T4) for potato minituber production, weekly averaged. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.

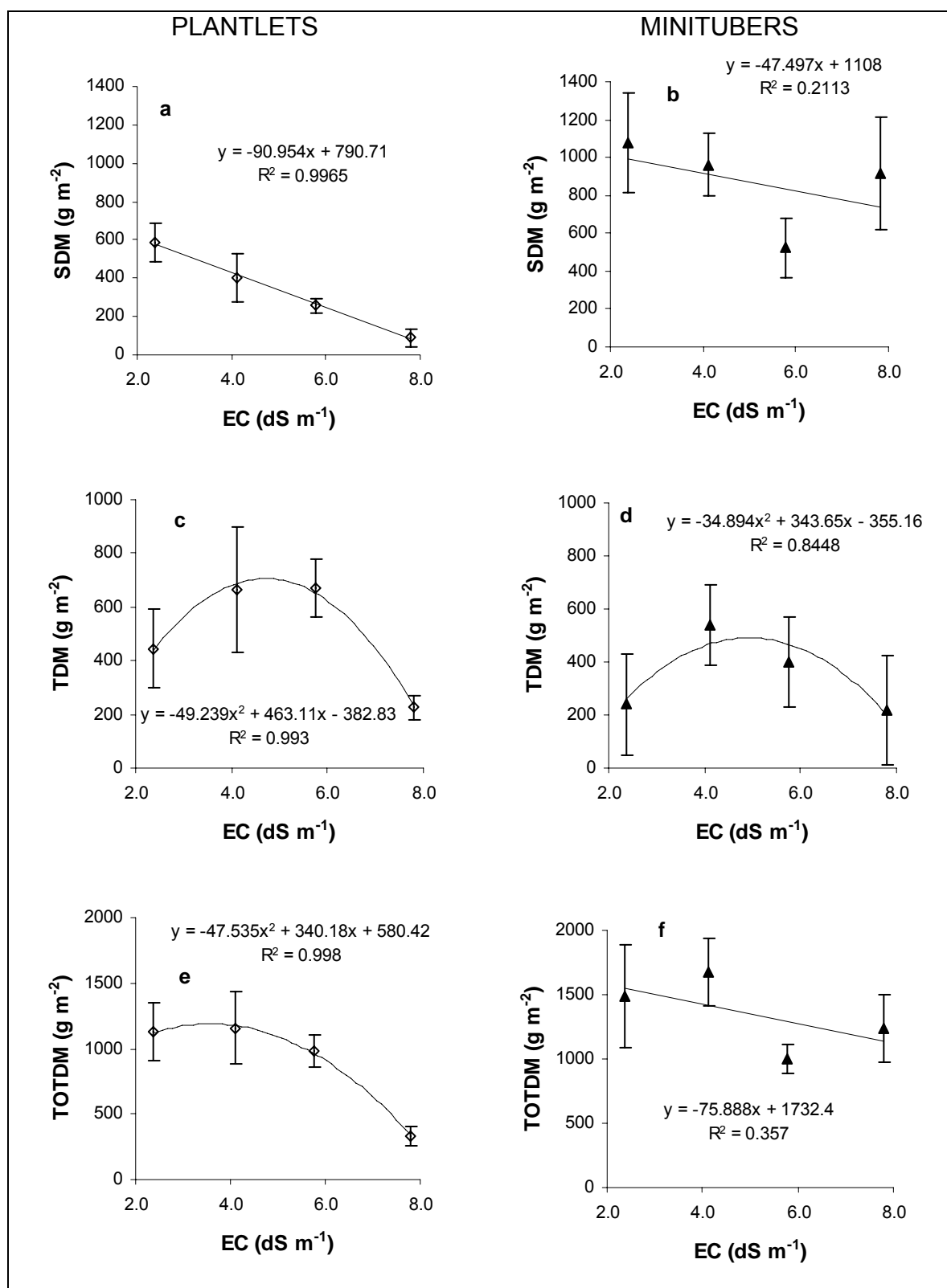


**Figure 4.3** – Phyllochron (a) and accumulated thermal time up to the end of the vegetative stage (HS to EVS, b) of potato plants originated from minitubers as propagation material at increasing NaCl salinity levels of the nutrient solution. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.

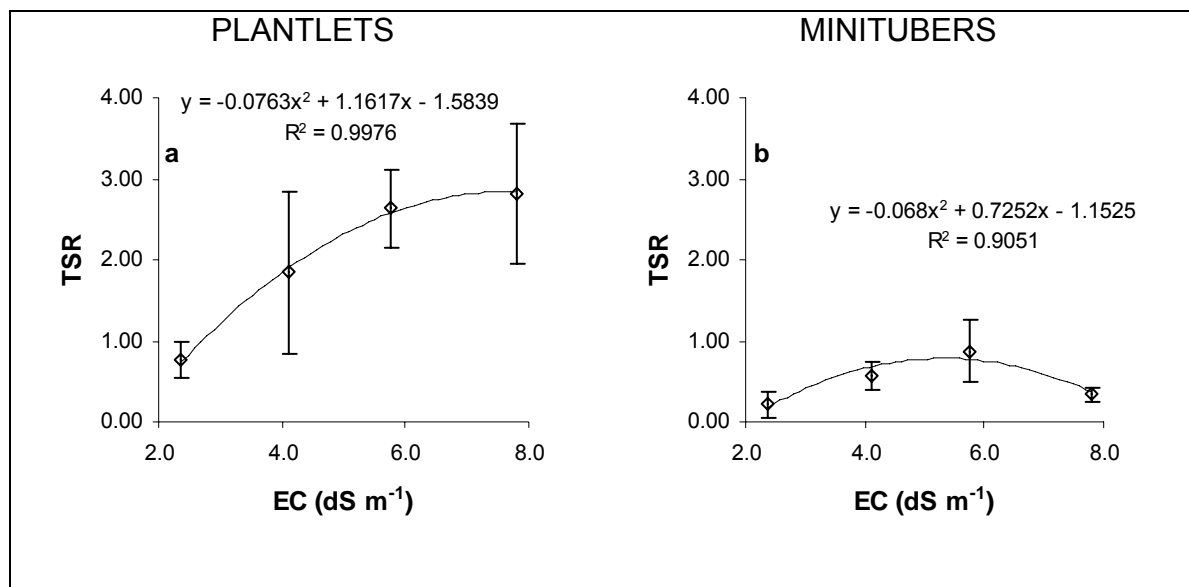




**Figure 4.4** – Fresh mass (TFM) and mean mass of tubers (TMM) produced from plantlets (a, c) and from minitubers (b, d) as propagation materials at increasing NaCl salinity levels of the nutrient solution. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.



**Figure 4.5** – Shoot (SDM), tubers (TDM), and total (TOTDM) dry mass of potato plants grown from plantlets (a, c, e) and minitubers (b, d, f) as propagation materials at increasing NaCl salinity levels of the nutrient solution. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.



**Figure 4.6** – Tuber:shoot ratio (TSR) of potato plants grown from plantlets (a) and minitubers (b) as propagation materials at increasing NaCl salinity levels of the nutrient solution. EC: electrical conductivity of the nutrient solution. UFSM, Santa Maria-RS, 2004.

## 5. DISCUSSÃO

A cadeia reprodutiva da batata, no que diz da produção de minitubérculos, envolve obrigatoriamente o uso de plântulas e minitubérculos como material reprodutivo, como passos subseqüentes e imutáveis desta produção. O fato de uma parte de esse processo estar sendo feito em sistemas hidropônicos com descarte de solução nutritiva significa um aumento da área cultivada com esses sistemas considerados poluentes. Aperfeiçoar esses sistemas no sentido de uma maior sustentabilidade é uma necessidade premente. Os resultados apresentados neste trabalho trazem contribuições originais para atingir esse objetivo.

Dentre as principais contribuições, destaca-se a economia de água e fertilizantes. Como foi visto nas conclusões dos experimentos que corroboram referências encontradas na literatura (Baas *et al.*, 1995; Sonneveld, 2004), a salinidade da solução nutritiva diminui a absorção de água pela cultura devido a uma redução do seu potencial de água, que conduz à economia do uso desse recurso de disponibilidade limitada em nível global. O Capítulo 1 indicou a possibilidade de empregar soluções nutritivas com baixa concentração de nutrientes, nas quais a adição de NaCl pode associar produtividade de tubérculos com reduzido crescimento da parte aérea, como foi comprovado no Capítulo 2. Essa adição de sal representa uma elevação de custo de apenas 10-12% em relação ao custo da solução nutritiva (Tabela 5.1), que pode ficar totalmente compensada pela economia no consumo de solução nutritiva decorrente de uma área foliar inferior. Neste sentido, as reduções de crescimento da parte aérea pelo aumento da CE da solução nutritiva são de ordem de 31,3% para plântulas e de 11,5% para minitubérculos, considerando os níveis limiares em torno de 4,4 dS m<sup>-1</sup> para plântulas e 4,8 dS m<sup>-1</sup> para minitubérculos.

Por outro lado, a possibilidade de usar soluções nutritivas com alta condutividade elétrica na produção de minitubérculos permite a utilização de águas impróprias para o consumo humano e animal. Assim, águas com diferentes graus de salinidade, tais como aquelas servidas de origem industrial ou urbana, as subterrâneas salinas e a do mar poderiam ser empregadas.

Outra vantagem deste método seria a possibilidade de empregar soluções nutritivas residuais de outras culturas hidropônicas para a multiplicação da batata.

Esse método consistiria em adicionar à solução nutritiva descartada as quantidades de NaCl necessárias para restringir o crescimento da parte aérea. A reutilização dessas soluções contribuiria também na prevenção da salinização das fontes subterrâneas e dos solos onde seriam depositadas. Este fato é especialmente importante se consideramos que a irrigação das culturas tem se incrementado dramaticamente nos últimos duzentos anos, aumentando a área irrigada em mais de 30 vezes; sendo a principal fonte de água isenta ou com reduzido conteúdo salino disponível para a agricultura aquela de origem pluvial. Isto conduz a uma das mais preocupantes características da irrigação das culturas, que é a salinização secundária dos solos provocada por este manejo, especialmente os dedicados às culturas oleráceas, de alto uso deste recurso.

**Tabela 5.1** - Cálculo do custo da solução nutritiva e das adições de NaCl. Preços no mercado de Santa Maria - RS em 18/01/2007.

Macronutrientes	CE	kg/1000 L	R\$/25 kg	R\$/kg	R\$/1000 L
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (Esp.)		0,944		2,50	2,36
KNO <sub>3</sub>		0,506		3,50	1,77
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		0,155		5,00	0,78
MgSO <sub>4</sub>		0,308		1,50	0,46
				<b>SOMA</b>	<b>5,37</b>
NaCl (comercial)	4,4 dS m <sup>-1</sup>	1,362	10	0,40	0,54
NaCl (comercial)	4,8 dS m <sup>-1</sup>	1,661	10	0,40	0,66

## 6. CONCLUSÃO

O aumento da concentração salina da solução nutritiva empregada na propagação hidropônica da batata, através de quantidades múltiplas de todos os sais fertilizantes que entram na sua composição, não aumenta a produtividade e não altera a relação tubérculos/parte aérea. Através do uso de NaCl, o crescimento da parte aérea é reduzido com mais intensidade do que o dos minitubérculos, podendo ser uma prática de manejo para diminuir a expansão foliar e o consumo de solução nutritiva.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALHAGDOW, M.; BARTHAKUR, N.; DONNELLY, D. Salinity stress and sodium-potassium interactions in micropropagated potatoes. **Potato Research**, v.42, n.1, p.73-78, 1999.

ANDRIOLO, J.L.; BISOGNIN, D.A.; GODOI, R.S.; BORTOLOTTI, O.C.; BOEMO, I.P. Produção hidropônica de batata-semente empregando substratos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 44., 2004, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande: SOB, 2004.

ANDRIOLO, J.L.; BISOGNIN, D.A.; GODOI, R.S.; BORTOLOTTI, O.C.; COGO, C.M.; MADALÓZ, J.C.C. Produtividade de tubérculos-semente de batata em cultivo hidropônico com dois substratos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 45., 2005, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: SOB, 2005.

AYERS, A.D.; WADLEIGH, C.H.; BERNSTEIN, L. Salt tolerance of six varieties of lettuce. **Proceedings of the American Society of Horticultural Science**, v.57, p.237-242, 1951.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Rome, 1985. 174p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev.1).

BAAS, R.; NIJSSSEN, H.M.C.; VAN DEN BERG, T.J.M.; WARMENHOVEN, M.G. Yield and quality of carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) and gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) in a closed nutrient system as affected by sodium chloride. **Scientia Horticulturae**, v.61, p.273-284, 1995.

BATATA INGLESA. Disponível em: <<http://www.batatainglesa.com.br/>>. Acesso em: 20 jan. 2007.

BEGG, J.E.; TURNER, N.C. Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, v.28, p.161-217, 1976.

BELTRÃO, J.; FARIA, J.; MIGUEL, G.; CHAVES, P.; TRINDADE, D. Cabbage yield response to salinity of trickle irrigation water. **Acta Horticulturae**, n.537, p.649-656, 2000.

CAO, W.; TIBBITS, T.W. Leaf emergence on potato stems in relation to thermal time. **Agronomy Journal**, v.87, p.474-477, 1995.

CASTELLANE, P.D.; ARAUJO, J.A.C. **Cultivo sem solo – Hidroponia**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 43p.

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

DANIELS, J.; PEREIRA, A.S.; FORTES, G.R.L. **Verticalização da produção de batata-semente por produtores de agricultura familiar no Rio Grande do Sul**.

Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000. 4p. (Embrapa Clima Temperado, Comunicado Técnico, 26).

DE PASCALE, S.; BARBIERI, G. Yield and quality of carrot as affected by soil salinity from long-term irrigation with saline water. **Acta Horticulturae**, n.537, p.621-628, 2000.

DE PASCALE, S.; BARBIERI, G.; RUGGIERO, C. Effects of irrigating pepper (*Capsicum annuum* L.) plants with saline water on plant growth, water use efficiency and marketable yield. **Acta Horticulturae**, n.537, p.687-695, 2000.

\_\_\_\_\_. Effects of water salinity on plant growth and water relations in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Acta Horticulturae**, n.449, p.649-656, 1997.

DVORÁK, J.; EPSTEIN, E.; GALVEZ, A.; GULICK, P.; OMIELAN, J.A. Genetic basis of plant tolerance of soil toxicity. In: STALKER, H.T.; MURPHY, J.P. (Ed.) **Plant Breeding in the 1990s – Proceedings of the Symposium in Plant Breeding in the 1990s**. Raleigh: CAB International, 1992. 539p.

FAO. Land and Water Development Division. **Land Resource Potential and Constraints at Regional and Country Levels**. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, 2000. 114p. (World Soil Resources Report, 90).

FAOSTAT. FAOSTAT data, 2005. Disponível em:  
<<http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&hasbulk=0&version=ext&language=EN>>. Acesso em: 19 mar. 2006.

FARRAN, I.; MINGO-CASTEL, A.M. Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. **American Journal of Potato Research**, v.83, p.47-53, 2006.

FEPAGRO. **Cadeias produtivas**: estudo das cadeias produtivas da batata no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: FEPAGRO, 1998. 68p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FURLANI, P.R.; MEDA, A.R.; GOUVEA, J.A.; MACHADO, R.P. Crescimento e acúmulo de sódio por cultivares de alface sob efeito de NaCl em hidroponia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 44., 2004, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande: SOB, 2004.

GODOI, R.S.; ORCIAL, C.B.; BOEMO, I.P.; DA LUZ, G.L.; ANDRIOLO, J.L.; BISOGNIN, D.A. Produção hidropônica de batata-semente empregando substratos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 43., 2003, Recife, PE. **Anais...** Recife: SOB, 2003.

HARTZ, T.K.; MOORE, F.D. Prediction of potato yield using temperature and insolation data. **American Potato Journal**, v.55, n.7, p.431-436, 1978.



HERMES, C.C.; MEDEIROS, S.L.P.; MANFRON, P.A.; CARON, B.; POMMER, S.F.; BIANCHI, C. Emissão de folhas de alface em função da soma térmica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.269-275, 2001.

HEUER, B.; NADLER, A. Growth and development of potatoes under salinity and water deficit. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.46, n.7, p.1477-1486, 1995. (Resumo)

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

HOHJO, M.; GANDA, M.; MARUO, T.; SHINOHARA, Y.; ITO, T. Effects of NaCl applications on the growth, yield and fruit quality in NFT-tomato plants. **Acta Horticulturae**, n.548, p.469-475, 2001.

HSIAO, T.C.; XU, L.-K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **Journal of Experimental Botany**, v.51, n.350, p.1595-1616, 2000.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>>. Acesso em: 5/12/06.

JEFFERIES, R.A. Cultivar responses to water stress in potato: effects of shoot and roots. **New Phytologist**, v.123, p.491-498, 1993.

KARAM, F.; HAMDY, A. KATERJI, N.; MASTRORILLI, M. *Solanum tuberosum* water status and yield as affected by salinity and soil texture. **Acta Horticulturae**, n.449, p.635-640, 1997.

KARAM, F.; KATERJI, N.; MASTRORILLI, M.; VAN HOORN, J.W.; HAMDY, A. Effects of irrigation water salinity and soil texture on potatoes growth and production. **Acta Horticulturae**, n.458, p.89-94, 1998.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.

LEVY, D.; FOGELMAN, E.; YTZHAK, Y. Influence of water and soil salinity on emergence and early development of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars and effect of physiological age of seed tubers. **Potato Research**, v.36, n.4, p.335-340, 1993. (Resumo)

LEVY, D.; FOGELMAN, E.; YTZHAK, Y. The effect of water salinity on potatoes (*Solanum tuberosum* L.): Physiological indices and yielding capacity. **Potato Research**, v.31, n.4, p.601-610, 1988. (Resumo)

LI, Y.L.; STANGHELLINI, C. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato. **Scientia Horticulturae**, v.89, p.9-21, 2001.

LI, Y.L.; STANGHELLINI, C.; CHALLA, H. Effect of electrical conductivity and transpiration on production of greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). **Scientia Horticulturae**, v.88, p.11-29, 2001.

LIMA, L.A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Ed.) **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p.113-136.

LIU, J.; ZHU, J.K. An *Arabidopsis* mutant that requires increased calcium for potassium nutrition and salt tolerance. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 94, p.14960–14964, 1997.

LOVELLI, S.; RIVELLI.; NARDIELLO, I.; PERNIOLA, M. ; TARANTINO, E. Growth, leaf ion concentration, stomatal behaviour and photosynthesis of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigated with saline water. **Acta Horticulturae**, n.537, p.679-686, 2000.

MAAS, E.V. Salt tolerance of plants. **Applied Agricultural Research**, v.1, p.12-26, 1986.

MAAS, E.V.; GRIEVE, C.M. Spike and leaf development in salt-stressed wheat. **Crop Science**, v.30, p.1309-1313, 1990.

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

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

MARTINEZ, H.E.P.; SILVA FILHO, J.B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004. 111p.

MARTINS, O.M.; COUTO, M.E.O. Variabilidade genética e distribuição geográfica de biovares de *Ralstonia solanacearum* no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS GENÉTICOS PARA A AMÉRICA LATINA, 3., 2001, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 2001. p.492-493.

MEDEIROS, C.A.B. Batata-semente pré-básica: multiplicação por hidroponia. In: PEREIRA, A.S.; DANIELS, J. (Ed.) **O cultivo da batata na região sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p.444-474.

MEDEIROS, C.A.B.; ZIEMER, A.H.; DANIELS, J.; PEREIRA, A.S. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.1, p.110-114, 2002.

MEDEIROS, J.F. de. Salinização em áreas fertirrigadas – manejo e controle. In: FOLEGATTI, M.V.; CASARINI, E.; BLANCO, F.F.; BRASIL, R.P.C.; RESENDE, R.R. (Coord.). **Fertirrigação – flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p.201-240.

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

NADLER, A.; HEUER, B. Effect of saline irrigation and water deficit on tuber quality. **Potato Research**, v.38, n.1, p.119-123, 1995. (Resumo)

PEREIRA, A. B.; SHOCK, C. C. Ch.13E. A Review of Agrometeorology and Potato Production. In: STIGNER, K. (Org.). **Guide to Agricultural Meteorological Practices**. (GAMP): INSAM, 2006. p.1-39.

PLAUT, Z. Irrigation with low-quality water: effects on productivity, fruit quality and physiological processes of vegetable crops. **Acta Horticulturae**, n.449, p.591-597, 1997.

PLAUT, Z.; GRAVA, A. Improvement of tomato fruit quality with brackish water, under optimal irrigation management. **Acta Horticulturae**, n.537, p.611-620, 2000.

REIS JR., R. A.; FONTES, P. C. R.; NEVES, J. C. L.; SANTOS, N.T. Total soil electrical conductivity and critical soil  $K^+$  to  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  ratio for potato crops. **Scientia Agrícola**, v.56, n.4, p.993-997, 1999.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **The use of saline waters for crop production**. Rome, 1992. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 48). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/T0667E/T0667E00.htm>>. Acesso em: 24 mai. 2005.

ROLOT, J.L; SEUTIN, H. Soilless production of potato minitubers using a hydroponic technique. **Potato Research**, v.42, p.457-469, 1999.

RUIZ, D.; MARTÍNEZ, V.; CERDÁ, A. Demarcating specific ion ( $NaCl$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$ ) and osmotic effects in the response of two citrus rootstocks to salinity. **Scientia Horticulturae**, v.80, p.213-224, 1999.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Plant Physiology**. 4<sup>th</sup> ed. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1991. 682p.

SARANGA, Y.; ZAMIR, D.; MARANI, A.; RUDICH, J. Breeding tomatoes for salt tolerance: field evaluation of *Lycopersicon* germplasm for yield and dry matter production. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, v.116, p.1067-1071, 1991.

SCHWARZ, D. Concentration and composition of nutrient solution affect root formation of young tomato. **Acta Horticulturae**, n.609, p.103-108, 2003. (Abstract)

SCHWARZ, D.; KUCHENBUCH, R. Water uptake by tomato plants grown in closed hydroponic systems dependent on the EC-level. **Acta Horticulturae**, n.458, p.323-328, 1998.

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

SONNEVELD, C. La nutrición mineral y salinidad en los cultivos sin suelo: su manejo. In: URRESTARAZU GAVILÁN, M. (Ed.). **Tratado de cultivo sin suelo**. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2004. p.305-367.

SONNEVELD, C.; WELLES, G.W.H. Yield and quality of rockwool-grown tomatoes as affected by variations in EC-value and climatic conditions. **Plant and Soil**, v.111, p.37-42, 1988.

SORIA, T.; CUARTERO, J. Tomato fruit yield and water consumption with salty water irrigation. **Acta Horticulturae**, n.458, p.215-220, 1998.

STANGHELLINI, C.; DE JONG, T. A model of humidity and its applications in a greenhouse. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.76, p.129-148, 1995.

STANGHELLINI, C.; VAN MEURS, W.TH.M.; CORVER, F.; VAN DULLEMEN, E.; SIMONSE, L. Combined effect of climate and concentration of the nutrient solution on a greenhouse tomato crop. II: Yield quantity and quality. **Acta Horticulturae**, n.458, p.231-237, 1998.

STOREY, R.; GRAHAM, R.D.; SHEPHERD, K.W. Modification of the salinity response of wheat by the genome of *Elytrigia elongatum*. **Plant and Soil**, v.83, p.327-330, 1985.

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

STRUIK, P.C.; LOMMEN, W.L.M. Production, storage and use of micro- and minitubers. TRIENNIAL CONFERENCE OF THE EUROPEAN ASSOCIATION FOR POTATO RESEARCH (EAPR), 11., 1990, Edinburgh. **Proceedings...** Edinburgh, 1990. p.175-216.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiología vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

THORNLEY, J.H.M. Modelling shoot:root relations: the only way forward? **Annals of Botany**, v.81, p.165-171, 1998.

VAN HOORN, J.W.; KATERJI, N.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Effect of saline water on soil salinity and on water stress, growth, and yield of wheat and potatoes. **Agricultural Water Management**, v.23, p.247-265, 1993.

WILHELM, W.W.; McMASTER, G.S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. **Crop Science**, v.3, n.1, p.1-3, 1995.

YEO, A. Predicting the interaction between the effects of salinity and climate change on crop plants. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.159-174, 1999.