



# Manejos da fertirrigação e doses de N e K no cultivo de pimentão em ambiente protegido<sup>1</sup>

**Francisco de A. de Oliveira<sup>2</sup>, Sérgio N. Duarte<sup>3</sup>, José F. de Medeiros<sup>2</sup>,  
Nildo da S. Dias<sup>2</sup>, Ricardo C. P. da Silva<sup>2</sup> & Carlos J. G. de S. Lima<sup>4</sup>**

## RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de se avaliar os efeitos de manejos de fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio sobre o crescimento e a produção de pimentão cultivado em ambiente protegido. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com 18 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos resultaram da combinação de três manejos da fertirrigação e com seis doses de nitrogênio e potássio. Foram realizadas seis colheitas e, nelas, avaliações quanto ao número, massa média e produção de frutos além de indicadores de crescimento (área foliar, altura e acúmulo de fitomassa). Os resultados obtidos demonstram que o crescimento e o rendimento do pimentão dependem, além das doses de N e K, do manejo de fertirrigação adotado. O manejo da fertirrigação a partir do monitoramento da concentração de íons de N e K com auxílio dos extratores de solução, ou da condutividade elétrica da solução do solo é mais eficiente que o manejo tradicional. O monitoramento da solução do solo deve ser realizado utilizando-se, como referência, as concentrações variando de 200 e 250% de N e K correspondentes à recomendação para a cultura do pimentão em sistema hidropônico.

**Palavras-chave:** *Capsicum annuum* L., concentração iônica, extratores de cápsula porosa, nitrogênio, potássio

# Management of fertigation and doses of N and K in the cultivation of pepper in greenhouse

## ABSTRACT

This study was carried out for evaluating the effects of fertigation management and levels of nitrogen and potassium on growth and yield of bell pepper in protected environment. The experimental design was in a completely randomized block, with 18 treatments and four replications. Treatments resulted from the combination of three fertigation managements and six nitrogen and potassium doses. There were six harvests, when evaluations were made of fruit number, mean mass and yield, as well as of growth indicators (leaf area, plant height and dry mass). Results showed that, besides the N and K doses, bell pepper growth and yield also depend on the management of fertigation used. Fertigation managements based on concentration of N and K ions using solution extractors, and monitoring of soil electrical conductivity were better than the usual management. Soil solution monitoring must take as reference N and K concentrations between 200 and 250% of recommendation for bell pepper production in hydroponic system.

**Key words:** *Capsicum annuum* L., ionic concentration, porous ceramic cup extractors, nitrogen, potassium

<sup>1</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à ESALQ/USP, Piracicaba, SP

<sup>2</sup> Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas/UFERSA. C.P. 137, CEP 59625-900, Mossoró, RN. E-mail: [tikaoamigao@ufersa.edu.br](mailto:tikaoamigao@ufersa.edu.br); [jfmedeir@ufersa.edu.br](mailto:jfmedeir@ufersa.edu.br); [nildo@ufersa.edu.br](mailto:nildo@ufersa.edu.br); [ricarlos\\_agro@hotmail.com](mailto:ricarlos_agro@hotmail.com)

<sup>3</sup> ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11. CEP 13418-900. Piracicaba, SP. E-mail: [snduarte@esalq.usp.br](mailto:snduarte@esalq.usp.br)

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, Centro de Ciências Agrárias/UFPI. Campus Socopo. CEP 64049-550. Teresina, PI. E-mail: [kj.gon@bol.com.br](mailto:kj.gon@bol.com.br)

## INTRODUÇÃO

A fertirrigação é uma das tecnologias mais utilizadas no cultivo em ambiente protegido destacando-se como uma das formas de adubação que apresentam maior eficiência no uso de fertilizantes; no entanto, ainda é necessário o desenvolvimento de pesquisas para se obter a máxima eficiência desta tecnologia.

Para a cultura do pimentão, especificamente, o potássio e o nitrogênio são os nutrientes mais extraídos pelas plantas (Marcussi et al., 2004; Fontes et al., 2005); porém na literatura são encontrados resultados divergentes sobre a exigência da cultura do pimentão quanto à fertirrigação nitrogenada e potássica, principalmente quando cultivada em ambiente protegido. Para o nitrogênio são encontradas recomendações variando de 221 a 400 kg ha<sup>-1</sup> (Campos et al., 2008; Araújo et al., 2009). Já para a adubação potássica as recomendações variam de 80 a 200 kg ha<sup>-1</sup> de K (Melo et al., 2009; Albuquerque et al., 2011).

A partir desses resultados percebe-se que existe grande divergência na resposta da cultura do pimentão à aplicação de nitrogênio e de potássio, sobretudo pelas diferentes condições ambientais e genótipos utilizados por esses autores. Assim, para a obtenção de elevadas produtividades são aplicadas doses excessivas de fertilizantes o que poderá acarretar em desperdícios e aumento da salinidade dos solos.

Além da dose adequada de fertilizantes outro fator de fundamental importância é sua forma de aplicação ao longo do ciclo da cultura. Assim, em um programa adequado de nutrição e fertilização deve-se seguir as curvas de crescimento e absorção de nutrientes da cultura para cada estágio de desenvolvimento visto que elas permitem, com precisão, saber a quantidade e o momento necessário de se aplicar o nutriente indicando a época propícia para ministrá-lo em função de suas demandas diárias.

No entanto, Marcussi et al. (2004) verificaram, trabalhando com fertirrigação a partir da marcha de absorção da cultura, que as plantas que receberam uma quantidade de N e K correspondente ao aumento de 50% em relação à dose estabelecida na marcha de absorção, foram as que alcançaram maior produção de frutos. Desta forma, esses autores concluíram que a curva de acúmulo de nutrientes serve como base para a fertirrigação nitrogenada e potássica; no entanto, os valores devem ser ajustados de acordo com as condições climáticas, principalmente a temperatura.

Em razão desta problemática, estudos têm sido desenvolvidos visando ao desenvolvimento de novas tecnologias que

possibilitem o manejo da fertirrigação de forma mais racional, dentre os quais se destaca o manejo da concentração de íons na solução do solo. Para isto, foram utilizados extratores providos de cápsulas porosas que foram investigados e apresentaram resultados satisfatórios por diversos pesquisadores, seja para o monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo (Dias et al., 2006; Medeiros et al., 2012; Silva et al., 2013) ou para o monitoramento da concentração de íons da solução do solo (Silva Júnior et al., 2010; Oliveira et al., 2011).

Desta forma, o uso de extratores de solução do solo é uma ferramenta viável para monitoramento da concentração de íons e/ou da condutividade elétrica durante o ciclo da cultura, embora ainda sejam necessários mais estudos para aprimorar esta tecnologia. Com base no exposto desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de avaliar o uso de diferentes manejos de fertirrigação no cultivo do pimentão cultivado em ambiente protegido utilizando-se os extratores de solução.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, no Campus da Universidade Federal Rural do Semiárido - UFRSA, em Mossoró, RN (5° 11' LS; 37° 20' LO e 18 m de altitude) cuja temperatura média anual é de 27,4 °C, a umidade relativa do ar é de 68,9% e a precipitação pluviométrica é de 673,9 mm, sendo esta bastante irregular e se concentrando nos primeiros meses do ano. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo BSw<sup>h</sup>, ou seja, quente e seco com período chuvoso que se adianta para o outono.

Foi utilizado material de solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006) coletado na camada 0-0,20 cm; seus atributos físicos e químicos (EMBRAPA, 1997) são apresentados na Tabela 1.

O trabalho foi realizado em duas etapas; a primeira desenvolvida em Laboratório e a segunda em ambiente protegido. A primeira etapa consistiu na calibração dos extratores para serem utilizados no monitoramento da solução do solo enquanto a segunda foi desenvolvida com a cultura do pimentão em ambiente protegido. A etapa de calibração foi realizada conforme os procedimentos descritos por Silva Júnior et al. (2010) e Oliveira et al. (2011) nos quais foram definidos os níveis de N e K (M<sub>2</sub>) e a condutividade elétrica (M<sub>3</sub>) da solução do solo (Tabela 2).

**Tabela 1.** Características físico-químicas do material de solo utilizado no experimento

pH	M.O. (%)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	K	Na	Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Mg	Al	H	Densidade (kg m <sup>-3</sup> )	Areia	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Argila
5,9	1,05	2,20	0,14	0,13	0,40	0,60	0,25	3,05	1500	820	40	140

**Tabela 2.** Teores de nitrogênio e potássio e condutividade elétrica como referência dos tratamentos com monitoramento da solução solo

Níveis de NK	Nitrogênio		Potássio		Condutividade elétrica	
	Solução aplicada	Solução coletada	Solução aplicada	Solução coletada	Solução aplicada	Solução coletada
	(mg L <sup>-1</sup> )				(dS m <sup>-1</sup> )	
N <sub>1</sub> -0%	0	0	0	0	0	0
N <sub>2</sub> -50%	111	76	132	122,5	1,4	1,6
N <sub>3</sub> -100%	193	152	249	245,0	2,1	2,2
N <sub>4</sub> -150%	276	228	365	367,5	3,2	3,1
N <sub>5</sub> -200%	358	304	481	490,0	4,0	3,8
N <sub>6</sub> -300%	524	456	714	735,0	4,7	5,1

A segunda etapa experimental foi conduzida em ambiente protegido utilizando-se o delineamento em blocos casualizados, com os tratamentos arranjados em esquema fatorial 3 x 6, com quatro repetições, sendo cada unidade experimental representada por um vaso contendo uma planta.

Os tratamentos foram formados pela combinação de três manejos de fertirrigação ( $M_1$  - Fertirrigação com base na marcha de absorção;  $M_2$  - controle da concentração de íons  $\text{NO}_3^-$  e de  $\text{K}^+$  na solução do solo;  $M_3$  - controle da condutividade elétrica da solução do solo com seis níveis de nitrogênio e de potássio) com seis níveis de nitrogênio e potássio (0, 50, 100, 150, 200 e 300%).

Para o manejo  $M_1$  foram utilizadas seis doses de N e K, tendo como a referência as doses utilizadas pelos produtores de pimentão da região do Agropolo Assu-Mossoró, correspondentes a 215 e 314  $\text{kg ha}^{-1}$  para N e K, respectivamente (Freitas, 2009). Os seis níveis de N e K foram correspondentes a 0, 50, 100, 150, 200 e 300% dessa recomendação para ambos os nutrientes de forma que foram aplicadas as seguintes doses de N e K, respectivamente:  $D_1 = 0$  e  $0$ ;  $D_2 = 107,5$  e  $157$ ;  $D_3 = 215$  e  $314$ ;  $D_4 = 322,5$  e  $471$ ;  $D_5 = 430$  e  $628$ ;  $D_6 = 645$  e  $942 \text{ kg ha}^{-1}$ . Para o espaçamento utilizado essas doses corresponderam às doses teóricas de N e K:  $D_1 = 0$ ;  $D_2 = 8,1$  e  $11,8$ ;  $D_3 = 16,1$  e  $23,5$ ;  $D_4 = 24,2$  e  $35,3$ ;  $D_5 = 32,3$  e  $47,1$ ;  $D_6 = 48,4$  e  $70,6 \text{ g planta}^{-1}$ . Consideraram-se essas doses teóricas em virtude de se fazer os ajustes de acordo com o ciclo da cultura. Essas quantidades de nutrientes foram aplicadas em fertirrigações semanais em quantidades pre-estabelecidas, parceladas de acordo com a marcha de absorção da cultura (Fontes et al., 2005).

Para os manejos  $M_2$  e  $M_3$  foram utilizados seis níveis de N e K (0, 50, 100, 150, 200 e 300%) tendo-se como base a concentração desses nutrientes em solução nutritiva recomenda para a cultura do pimentão em sistema hidropônico NFT (Castellane & Araújo, 1994). Os níveis de condutividade elétrica ( $M_2$ ) e de N e K ( $M_3$ ) foram referentes às concentrações desses nutrientes na solução do solo coletado utilizando-se os extratores de acordo com os resultados obtidos na etapa de calibração na qual foram definidos os níveis de N e K ( $M_2$ ) e a condutividade elétrica ( $M_3$ ) da solução do solo:

Para o manejo  $M_2$  foram utilizadas, com referência às seguintes concentrações de N e K:  $D_1 = 0$  e  $0$ ;  $D_2 = 76$  e  $122,5$ ;  $D_3 = 152$  e  $245$ ;  $D_4 = 228$  e  $367,5$ ;  $D_5 = 304$  e  $490$ ;  $D_6 = 456$  e  $735 \text{ (mg L}^{-1}\text{)}$ . Essas concentrações de N e K foram utilizadas como referência para o manejo  $M_3$  no qual se buscou, ao longo do experimento, manter as respectivas condutividades elétricas na solução do solo:  $D_1 = 0$ ;  $D_2 = 1,6$ ;  $D_3 = 2,2$ ;  $D_4 = 3,1$ ;  $D_5 = 3,8$ ;  $D_6 = 5,1 \text{ dS m}^{-1}$ .

Utilizou-se a cultura do pimentão, híbrido 'Atlantis' (Topssed®) por se tratar de um dos mais cultivados na região. Foram utilizadas mudas com 35 dias após a semeadura, oriundas de empresa especialista da região as quais foram transplantadas para vasos plásticos com capacidade para 25 L de solo. Em sua parte inferior os vasos continham um sistema de drenagem formado por uma camada de envelope de 2 cm (brita + manta geotextil).

Para manejar a fertirrigação foram instalados, em cada unidade experimental (vasos) um tensiômetro e um extrator de solução, ambos na profundidade de 15 cm, o primeiro

para monitoramento da umidade e quantificação da lâmina de água a ser aplicada em cada irrigação e o segundo para coleta de solução do solo; em seguida, foram aplicadas as soluções apresentando concentração iônica de acordo com os resultados obtidos na primeira etapa aplicando-se um volume suficiente para umedecer o solo a uma umidade referente à máxima capacidade de retenção de água.

Semanalmente eram realizadas coletas de solução do solo utilizando-se extratores de cápsulas porosas. Para a coleta da solução do solo era aplicado vácuo de aproximadamente de 70 kPa, 8 h após a fertirrigação e 8 horas depois se coletava a solução através de uma seringa plástica de 60 mL acoplada a um microtubo, seguindo metodologia de Dias et al. (2004). Imediatamente após cada coleta de solução do solo era tomada a medida de tensão a fim de se obter a umidade atual do solo para realizar a correção das concentrações de íons para quando o solo estiver na capacidade de campo. As fertirrigações foram realizadas quando as análises detectaram reduções de 20% em relação às concentrações de íons de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{K}^+$  e de condutividade elétrica utilizada como referência no início do experimento (Silva Júnior et al., 2010; Medeiros et al., 2012).

As amostras da solução do solo coletada eram transportadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFERSA para determinação da CE utilizando-se um condutivímetro com compensação automática da temperatura, Tec-4MP (Tecnal®). Foram determinados, também, os teores de K e N. O potássio foi definido por fotometria de chama, Modelo DM-62 (Digimed). A determinação do teor de N foi realizada utilizando-se um medidor de íons específico para  $\text{NO}_3^-$  (Horiba®) e os valores obtidos foram convertidos para N, dividindo-os pelo fator 4,43.

Os valores de condutividade elétrica e de concentração de íons, determinados mediante a solução extraída pelas cápsulas porosas, eram corrigidos para a umidade da capacidade de campo visto que, após as fertirrigações, o solo ficava com esta umidade. Visando à correção era utilizada a Eq. 1 recomendada por Silva et al. (2000) com algumas modificações adaptadas para este trabalho.

$$C_{\text{estimada cp}} = \frac{C_{\text{cp}} \cdot U_{\text{cp}}}{U_{\text{cc}}} \quad (1)$$

em que:

$C_{\text{estimada cp}}$  - Condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) ou concentração de íons ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na solução do solo, estimada a partir dos valores medidos na solução do solo obtida com extrator de solução do solo

$C_{\text{cp}}$  - Condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ) ou concentração de íons ( $\text{mg L}^{-1}$ ) na solução do solo, obtida com extrator de cápsula porosa,  $\text{dS m}^{-1}$  ou  $\text{mg L}^{-1}$

$U_{\text{cp}}$  - Umidade do solo no momento em que foi dado o vácuo no extrator de cápsula porosa,  $\text{g g}^{-1}$

$U_{\text{cc}}$  - Umidade do solo na capacidade de campo,  $\text{g g}^{-1}$

Após as referidas correções eram calculadas as quantidades de fertilizantes a serem aplicados quantidade esta imprescindível para que a solução do solo se mantivesse no nível de CE inicial ( $M_2$ ) ou na concentração  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{K}^+$  inicial ( $M_3$ ). A condutividade elétrica (CE) da solução a ser aplicada de forma

a manter a CE inicial dos tratamentos ( $M_2$ ), foi calculada por meio da Eq. 2:

$$CE_A = \frac{(CE_F \cdot VV \cdot \theta_{CC}) - (CE_E \cdot VV \cdot \theta_A)}{VC_C} \quad (2)$$

em que:

$CE_A$  - Condutividade elétrica ( $dS\ m^{-1}$ ) ou concentração de íons ( $mg\ L^{-1}$ ) da solução de fertirrigação a ser aplicada

$CE_F$  - Condutividade elétrica ( $dS\ m^{-1}$ ) final da solução de sais ( $mg\ L^{-1}$ ) fertilizantes na capacidade de campo

VV - Volume de solo contido no vaso, L

$\theta_{CC}$  - Umidade volumétrica do solo na capacidade de campo,  $L\ L^{-1}$

$CE_E$  - Condutividade elétrica ( $dS\ m^{-1}$ ) ou concentração de íons ( $mg\ L^{-1}$ ) da solução do solo, medida por intermédio do uso de extrator de cápsula porosa

$\theta_A$  - Umidade volumétrica atual, ou seja, imediatamente antes da fertirrigação, medida com tensímetro,  $L\ L^{-1}$

$VC_C$  - Volume de solução necessário para o solo atingir a capacidade de campo, L

Ao longo do experimento eram realizadas pulverizações de inseticidas e fungicidas em intervalos quinzenais. Semanalmente eram realizadas aplicações foliares de micronutrientes utilizando-se Quelatec AZ (mistura sólida de EDTA-chelated contendo os nutrientes: 0,28% Cu, 7,5% Fe, 3,5% Mn, 0,7% Zn, 0,65% B e 0,3% Mo na dosagem de 2,50 kg ha<sup>-1</sup> recomendada para pimentão, aos 70 e aos 90 dias após o transplante (DAT). Também semanalmente era realizada aplicação foliar de CaB2 (2% de boro e 10% de cálcio) de acordo com a recomendação do fabricante com a finalidade de fornecer Ca e B, importantes na fase de frutificação.

Durante o experimento foram realizadas seis colheitas, sendo a primeira realizada aos 60 DAT das mudas e a última aos 120 DAT; as demais colheitas ocorreram de acordo com a maturação dos frutos; adotou-se o ponto de colheita quando os frutos atingiram tamanho comercial e cor verde-escuro brilhante.

Avaliaram-se os seguintes parâmetros:

- Produção comercial de frutos: obtida da massa fresca dos frutos comerciais das plantas da área útil, livres de queimaduras, ataque de doenças e pragas, e danos mecânicos, expressa em gramas e contabilizada como produção por planta ( $g\ planta^{-1}$ );

- Número de frutos comerciais: obtido pela contagem de frutos comerciais de todas as colheitas, expresso em frutos planta<sup>-1</sup>;

- Massa média de frutos comerciais: obtida pela soma da massa fresca dos frutos comerciais dividida pelo número de frutos comerciais, expresso em gramas (g).

O experimento foi finalizado aos 120 dias após o transplante, após serem realizadas seis colheitas de frutos, quando as plantas foram cortadas rente ao solo e em seguida analisadas quanto aos parâmetros de crescimento.

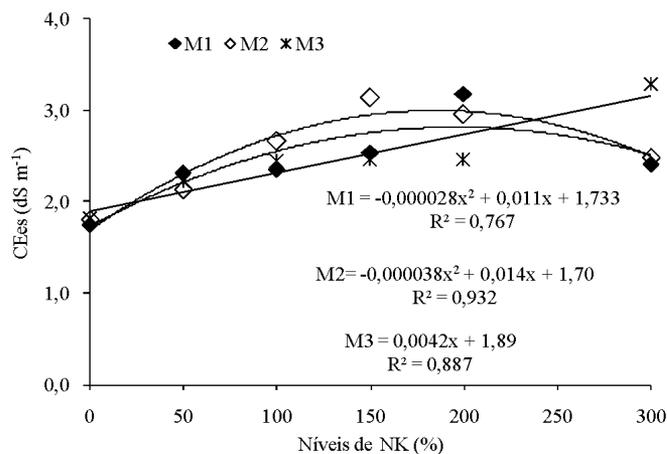
Foram avaliadas as seguintes características: altura: utilizando-se uma trena graduada em centímetro e se medindo o caule até o ápice da haste principal; área foliar - utilizando-se um integrador de área da marca Licor modelo LI-3100;

fitomassa seca de caule, folha, frutos e total - as plantas foram separadas nessas três partes (caule, folhas e frutos); em seguida foram acondicionadas em sacos de papel e postas para secar em estufa de circulação forçada de ar e logo em seguida pesadas em balança de precisão (0,01 g).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância aplicando-se teste F e se realizando o desdobramento, sempre que a interação foi significativa. Para o fator quantitativo, relativo aos níveis de N e K, realizou-se análise estatística por intermédio de regressão. Para o fator qualitativo foi realizada análise estatística através do teste de comparação de média para diferenciação entre os manejes de fertirrigação aplicando-se o teste Tukey a nível de 0,05 de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas aplicando-se o software estatístico Sisvar 4.1 (Ferreira, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se aumento na  $CE_{es}$  em função dos níveis de N e K para os três manejes de fertirrigação, ou seja, para os manejes  $M_2$  e  $M_3$  os dados foram ajustados a equações quadráticas com maiores valores de  $CE_{es}$  ocorrendo nos níveis 196% para  $M_2$  (2,81  $dS\ m^{-1}$ ) e 184% para  $M_3$  (2,98  $dS\ m^{-1}$ ) (Figura 1). No solo fertirrigado a partir do manejo  $M_1$  verificou-se aumento linear da  $CE_{es}$ , com maior valor estimado para o maior nível de NK (300%), obtendo-se  $CE_{es}$  de 3,15  $dS\ m^{-1}$ .



**Figura 1.** Condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_{es}$ ) do solo após cultivo de pimentão submetido a diferentes manejes de fertirrigação e níveis de N e K

O pimentão é moderadamente sensível à salinidade apresentando salinidade limiar de 1,5  $dS\ m^{-1}$  (Mass & Hoffman, 1990); assim, pode-se constatar que, em todos os níveis de NK estudados, os valores de  $CE_{es}$  estão acima do limite teoricamente tolerado pela cultura, sobretudo nos maiores níveis aumento este já esperado haja vista que existe relação direta entre concentração de sais na solução de fertirrigação e  $CE_{es}$  do solo (Dias et al., 2007). Silva et al. (2001) também verificaram, trabalhando com a cultura do pimentão em ambiente protegido, que os maiores valores de condutividade elétrica foram relacionados às maiores doses de potássio aplicado.

Analisando as  $CE_{es}$  nos maiores níveis de NK nos manejos  $M_1$ ,  $M_2$  e  $M_3$ , percebe-se que no nível 300% NK ocorreu queda na  $CE_{es}$  nos manejos  $M_2$  e  $M_3$  e aumento no manejo  $M_1$ . Esta diferença é devida, provavelmente, em virtude de ter havido, com o aumento nas doses, houve acúmulo de sais no solo, nos três manejos de irrigação reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Desta forma, nos manejos com monitoramento da concentração iônica na solução do solo ( $M_2$  e  $M_3$ ) foram aplicados menos fertilizantes que no manejo com doses pre-estabelecidas ( $M_1$ ).

Constatou-se efeito significativo da interação entre os fatores manejos de fertirrigação e níveis de N e K para altura de plantas (ALT), área foliar, número de frutos (NFR) e a produção de frutos (PROD) em nível de 0,01 de probabilidade e para fitomassa seca total (FST) em nível de 0,05 de probabilidade. Considerando o efeito dos fatores isoladamente verificou-se, para o fator níveis de N e K, resposta significativa para todas as variáveis ( $p < 0,01$ ). Para o fator manejo de fertirrigação foi constatado que, com exceção da variável NFR na qual não ocorreu resposta significativa, todas as demais variáveis responderam significativamente em nível de 0,01 de probabilidade (Tabela 3).

A partir do monitoramento da concentração de íons na solução do solo ( $M_2$  e  $M_3$ ) os manejos de fertirrigação proporcionaram maiores valores médios em ALT, AF, FST, MMFR e PROD, não diferindo entre si estatisticamente mas apresentando valores médios 72,8 folhas por planta, 6888,7  $cm^2$  planta<sup>-1</sup>, 172,9 g planta<sup>-1</sup>, 52,5 g fruto<sup>-1</sup> e 1193,9 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente; para NFR não houve diferença significativa entre os manejos de fertirrigação obtendo-se, entre os manejos  $M_1$  e  $M_2$  e  $M_3$ , o valor médio de 23,7 frutos por planta (Tabela 2).

A superioridade nos valores obtidos nos manejos  $M_2$  e  $M_3$  evidencia a importância de se monitorar a solução do solo, seja através do monitoramento da concentração de íons de N e K ou da condutividade elétrica da solução do solo, permitindo melhor balanço iônico durante o ciclo da cultura. A inferioridade do manejo  $M_1$  sobre os demais pode ter ocorrido em consequência do provável maior acúmulo de sais no solo proporcionado pela forma de distribuição de fertilizantes que, em geral, ocorre quando não se realiza monitoramento da concentração de sais no solo (Dias et al., 2006).

Medeiros et al. (2012) verificaram que o manejo da fertirrigação via monitoramento da salinidade na solução do solo ( $M_3$ ) proporcionou plantas de tomate mais altas e maior rendimento de frutos em comparação com o manejo em que foram utilizadas doses pre-estabelecidas ( $M_1$ ). Silva et al. (2013) observaram que plantas de berinjela apresentaram maior acúmulo de biomassa quando fertirrigadas com base na marcha de absorção da cultura e não encontraram diferença significativa para MMFR e PROD. As divergências entre esses resultados demonstram a importância de se desenvolver pesquisas com cada espécie e em condições ambientais específicas.

Avaliando o efeito dos níveis de N e K sobre a altura das plantas, verificou-se resposta quadrática nos três manejos de fertirrigação; apesar disto, os maiores ganhos percentuais foram obtidos nos manejos  $M_2$ , na concentração de 178% (81,7 cm) e no manejo  $M_3$ , na concentração de 299% (79,7 cm), correspondendo aos incrementos de 37,1 e 28,9% em relação às plantas que não receberam adubação nitrogenada nem potássica (Figura 2A).

Marcussi et al. (2004) observaram, trabalhando com doses de NK na cultura do pimentão, maiores alturas nas plantas fertirrigadas com doses de NK equivalentes a 107% da quantidade acumulada pela planta, resultados bem próximos ao obtido para o manejo  $M_1$ .

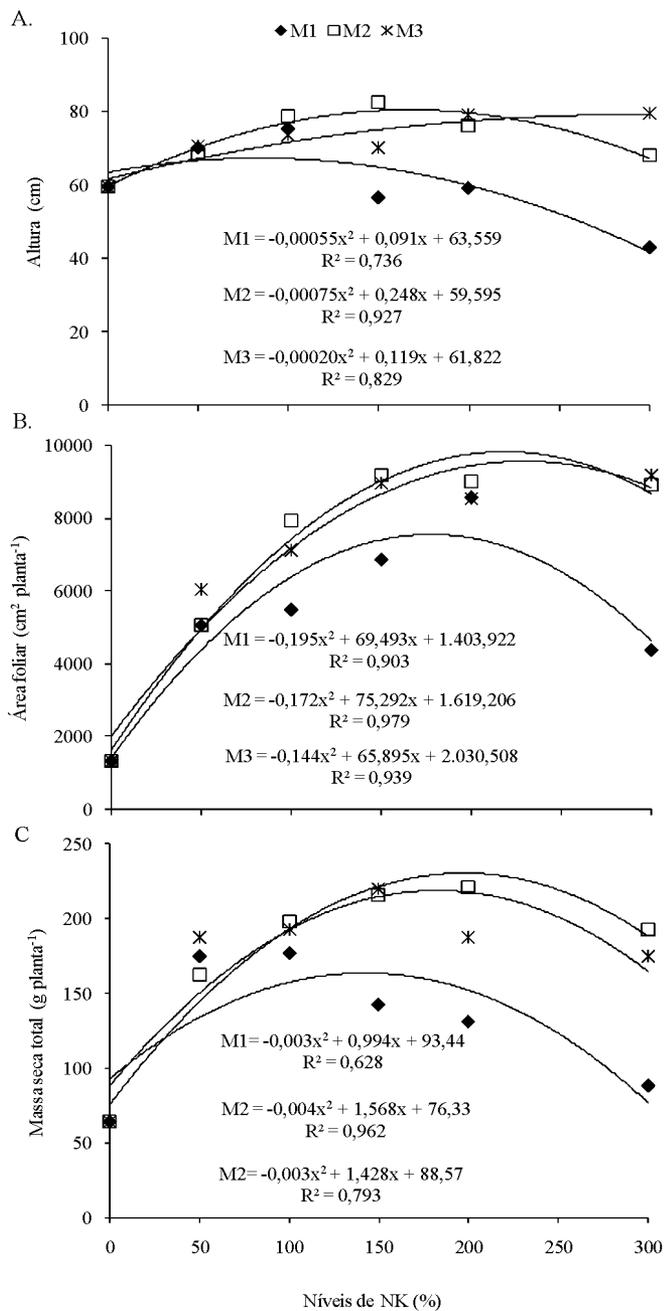
A literatura reporta sobre o desenvolvimento de plantas de pimentão, obtendo-se plantas com alturas variando de 50 a 200 cm, dependendo do material genético, condições ambientais, ciclo da cultura e práticas de manejo de culturas aplicados na cultura (Fontes et al., 2005; Charlo et al., 2011).

Analisando o efeito dos níveis de N e K sobre a AF verificou-se, para os três manejos de fertirrigação, que os dados apresentaram melhor ajuste ao modelo quadrático; para o manejo  $M_1$ , a maior AF foi estimada para o nível NK de 178% no qual se estimou área foliar de 7570  $cm^2$  planta<sup>-1</sup>, correspondendo ao incremento de 439% em relação ao tratamento da ausência de NK; já para os manejos  $M_2$  e  $M_3$ , os maiores valores foram estimados para os níveis de 219 e 229%, sendo estimadas áreas foliares de 9839,7 e 9574,2  $cm^2$  planta<sup>-1</sup>, respectivamente, em relação às plantas que não receberam adubação nitrogenada nem potássica, obtendo-se 1619,2  $cm^2$  planta<sup>-1</sup> para  $M_1$  (Figura 2B).

**Tabela 3.** Resumo da análise da variância (teste F) e valores médios para altura (ALT), área foliar (AF) fitomassa seca total (FST), número de frutos (NFR), massa média de frutos (MMFR) e produção (PROD) do pimentão cultivado em ambiente protegido e sob manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Fontes de variação	Variáveis					
	ALT	AF	FST	NFR	MMFR	PROD
	Valores de F					
Manejos (M)	12,04**	18,84**	37,64**	1,85 <sup>ns</sup>	5,81**	5,81**
Níveis (N)	3,81**	81,04**	71,07**	10,11**	5,54**	14,66**
M x N	3,74**	4,22**	8,28*	4,25**	0,55 <sup>ns</sup>	4,29**
Blocos	2,01	1,45	0,57	2,48	5,05	3,02
CV (%)	13,73	16,47	11,60	24,58	10,65	24,53
Manejo	ALT (cm)	AF ( $cm^2$ planta <sup>-1</sup> )	FST (g planta <sup>-1</sup> )	NFR (frutos planta <sup>-1</sup> )	MMFR (g fruto <sup>-1</sup> )	PROD (g planta <sup>-1</sup> )
$M_1$	60,7 b	5283,9 b	129,98 b	21,7 a	48,6 b	1054,6 b
$M_2$	72,4 a	6917,9 a	174,44 a	24,3 a	53,9 a	1209,7 a
$M_3$	73,2 a	6859,5 a	171,36 a	23,1 a	51,0 a	1178,1 a

\*\*Significativo a 0,01 de probabilidade; \*significativo a 0,05 de Probabilidade; <sup>ns</sup> - não significativo. \* Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste Tukey a 0,05 de probabilidade.  $M_1$  - manejo tradicional;  $M_2$  - manejo em base de concentração de N e K com extratores de solução;  $M_3$  - manejo em base de CE da solução do solo



**Figura 2.** Altura de plantas (A), área foliar (B) e fitomassa seca total (C) do pimentão cultivado em ambiente protegido e sob diferentes manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

Silva Júnior et al. (2010) verificaram comportamento semelhante para a cultura do meloeiro quando utilizaram o manejo da fertirrigação semelhante ao manejo  $M_2$  adotado neste trabalho, em que obtiveram resposta quadrática para o número de folhas e para área foliar em função do aumento das concentrações de nitrogênio e de potássio na solução do solo.

No tocante ao acúmulo de fitomassa seca total (FST) verificou-se comportamento semelhante ao observado na área foliar, na qual foram obtidas respostas quadráticas; a partir das equações de regressão obtidas para cada manejo de fertirrigação, verificou-se que os maiores valores foram estimados para os níveis de 142, 196 e 183% NK, com acúmulo total de fitomassa

em 164, 230 e 219 g planta<sup>-1</sup>, para os manejos  $M_1$ ,  $M_2$  e  $M_3$ , respectivamente (Figura 2C). Este resultado era esperado em consequência deste comportamento já ter ocorrido para FSC, FSF e FSFR.

Medeiros et al. (2012) obtiveram resultados semelhantes trabalhando com a cultura do tomateiro cultivado em ambiente protegido e também observaram efeito quadrático para FST, em resposta ao aumento da concentração de íons na solução do solo.

Tal efeito pode ser atribuído ao aumento da salinidade do solo devido ao acúmulo de íons no solo (Dias et al., 2007) e, provavelmente, salinidade do solo acima da tolerada pela cultura (Mass & Hoffman, 1990). Considerando que nos níveis N e K correspondentes a 150 e 200% da recomendação, a condutividade elétrica da solução do solo era de 3,1 e 3,8 dS m<sup>-1</sup> (Tabela 2) pode-se constatar, então, que as plantas utilizadas no presente trabalho apresentaram tolerância maior que a descrita por Mass & Hoffman (1990).

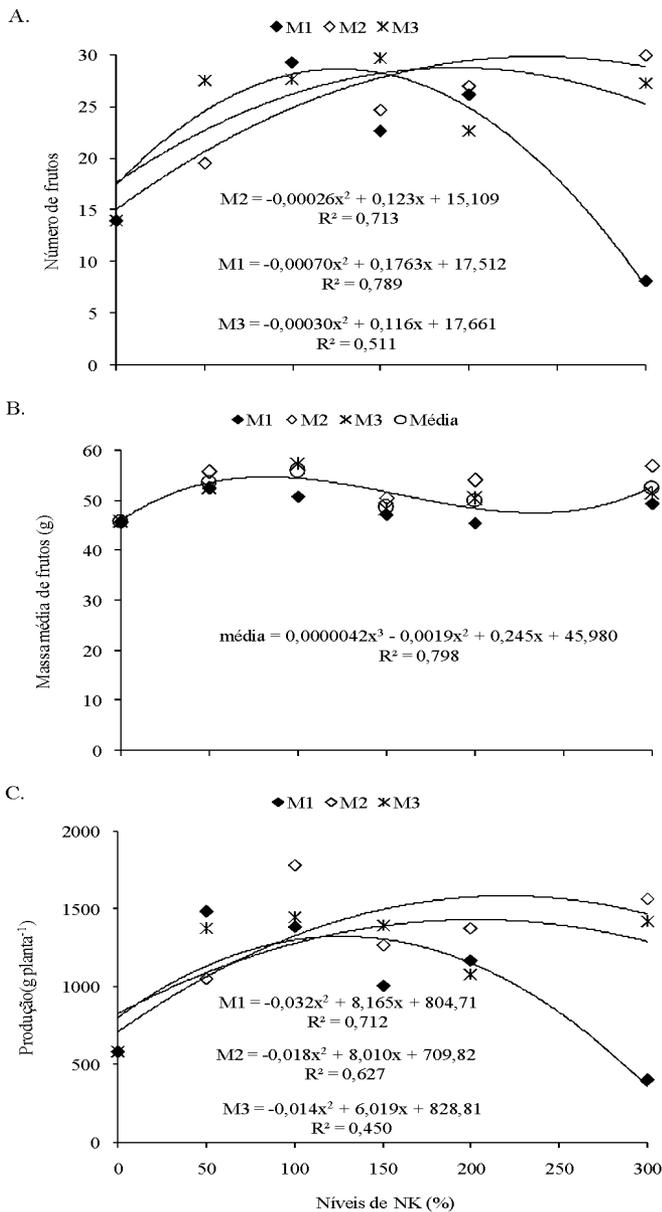
Ressalta-se que o incremento na salinidade do solo se deu em consequência do aumento da aplicação de fertilizantes. Marcussi et al. (2004) observaram maior desenvolvimento das plantas com salinidade de 2,3 dS m<sup>-1</sup>. Medeiros et al. (2009) trabalhando com a cultura do pepino e Eloi et al. (2011) e Medeiros et al. (2012), trabalhando com a cultura do tomateiro, também verificaram que, em condições de salinidade proporcionadas pela adição de fertilizantes, as plantas apresentaram maior tolerância a salinidade.

Com relação aos parâmetros de rendimento verifica-se que para NFR os três manejos de fertirrigação apresentaram melhor ajuste aos modelos polinomiais de segundo grau; para o manejo  $M_1$ , o maior NFR foi estimado em 29 frutos por planta, para o nível de N e K correspondente a 126% da dose recomendada para a cultura, o que corresponde a um aumento percentual de cerca de 63,4% em relação ao valor obtido nas plantas que não receberam aplicações de N e K (17 frutos planta<sup>-1</sup>); para os manejos com base no monitoramento da solução do solo verificaram-se os maiores valores para os níveis equivalentes a 237 e 193% NK estimando-se 30 e 29 frutos por planta, para  $M_2$  e  $M_3$ , respectivamente e aumento percentual de 98,6% ( $M_2$ ) e 93,1% ( $M_3$ ) (Figura 3A).

O decréscimo no NFR observado nos maiores níveis de NK pode ter ocorrido em consequência, provavelmente, da elevada taxa de abortamento nas plantas que receberam as maiores doses em consequência do aumento da condutividade elétrica do solo (Leonardo et al., 2008).

Resposta quadrática para NFR em função de adubações nitrogenadas e potássicas também foi observada por outros autores (Campos et al., 2008). Na literatura são encontrados relatos de grande variabilidade no NFR da cultura do pimentão sendo encontrados valores variando de 3 a 44 frutos por planta (Marcussi et al., 2004; Campos et al., 2008; Freitas, 2009; Melo et al., 2009; Albuquerque et al., 2011); no entanto, apesar desta grande variação todos esses autores obtiveram resposta da cultura a fertirrigação nitrogenada ou potássica.

Grande parte desta variabilidade pode ser atribuída ao ciclo da cultura adotado pelos autores, o que afeta diretamente o número total de frutos colhidos. A partir dos resultados obtidos neste trabalho e em confronto com a literatura, constata-se que é muito difícil a comparação de produção entre as diversas



**Figura 3.** Número de frutos (A), massa média de frutos (B) e produção (C) do pimentão cultivado em ambiente protegido e sob diferentes manejos da fertirrigação e níveis de nitrogênio e potássio

pesquisas realizadas com a cultura do pimentão em ambiente protegido, em virtude dos mais variados manejos utilizados pelos autores.

Com relação ao efeito dos níveis de N e K sobre a MMFR, verificou-se melhor ajuste ao modelo cúbico apresentando, inicialmente, aumento com o aumento nas doses até cerca de 90% NK (55,7 g fruto<sup>-1</sup>) decrescendo em seguida e apresentando aumento novamente no maior nível de NK (61,9 g fruto<sup>-1</sup>) (Figura 3B). De modo geral, a MMFR obtida neste trabalho (51,17 g fruto<sup>-1</sup>) está abaixo da caracterização descrita para a cultivar utilizada, que é de 200 a 260 g.

Tal diferença pode ser atribuída às condições climáticas em que foi realizado este estudo e à região onde a empresa realiza avaliação de desempenho da cultura. A inferioridade da MMFR obtida neste trabalho em confronto com a literatura pode estar

relacionada às elevadas temperaturas ocorridas no período experimental estando de acordo com os resultados obtidos por Erickson & Markhart (2001) que verificaram redução na MMFR quando a polinização dos frutos ocorreu sob temperatura acima de 33 °C, sendo observado, ainda, efeito sobre o comprimento dos frutos.

Outra provável causa para a redução no tamanho dos frutos está relacionada ao menor tempo ocorrido entre a fecundação e a maturação dos frutos, sendo este fato considerado um mecanismo de adaptação ao estresse térmico (Pagamas & Nawata, 2008).

Para a produção de frutos foi observada resposta semelhante à ocorrida para o NFR evidenciando que o rendimento de uma planta depende diretamente do número de frutos. Para os três tipos de manejo os dados foram ajustados às equações de regressão do tipo quadrática sendo os maiores valores estimados para os níveis de N e K correspondentes a 140, 244 e 195,2% para os manejos M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> e M<sub>3</sub>, respectivamente, das doses recomendadas para a cultura, seja para a fertirrigação convencional (M<sub>1</sub>) ou para o cultivo hidropônico (M<sub>2</sub> e M<sub>3</sub>). Os maiores rendimentos foram de 1.392,8 g planta<sup>-1</sup> para M<sub>1</sub>, 1.618 g planta<sup>-1</sup> para M<sub>2</sub> e 1.531 g planta<sup>-1</sup> para M<sub>3</sub>, o que corresponde ao aumento percentual de 109,6% (M<sub>1</sub>), 65,3% (M<sub>2</sub>) e 73,4% (M<sub>3</sub>) conforme mostrado na Figura 3C.

Na literatura diversos trabalhos demonstram o efeito positivo da adubação nitrogenada e potássica sobre o rendimento da cultura do pimentão. Alguns observaram resposta linear (Marcussi et al., 2004; Araújo et al., 2009) ou quadrática (Campos et al., 2008; Melo et al., 2009). A redução da produção de frutos por planta quando foram aplicadas doses acima daquela que proporcionou o máximo rendimento, pode ser explicada pelo efeito tóxico dos fertilizantes acumulados no solo reduzindo a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Deve-se atentar, também, para a possível demanda de energia da planta para fazer o ajuste osmótico e absorção de água e nutrientes, o que poderia ser convertido em produção (Taiz & Zeiger, 2009).

## CONCLUSÕES

1. A fertirrigação baseada no monitoramento da solução do solo mostrou-se mais eficiente que a realizada com base na marcha de absorção da cultura.
2. O manejo da fertirrigação nitrogenada e potássica a partir do monitoramento da solução do solo pode ser realizado a partir da concentração de íons específicos de N e K ou condutividade elétrica.
3. Plantas mais desenvolvidas e sem dúvida mais produtivas, são obtidas realizando-se fertirrigação via monitoramento da solução do solo e se utilizando doses variando de 200 a 250% da recomendada para o cultivo hidropônico

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de auxílio financeiro para realização da pesquisa; à CAPES, pela bolsa de doutorado do primeiro autor e à Universidade Federal Rural do Semi-Árido

- UFERSA, pela concessão da infraestrutura necessária ao desenvolvimento do experimento.

#### LITERATURA CITADA

- Albuquerque, F. S.; Silva, E. F. F.; Albuquerque Filho, J. A. C.; Nunes, M. F. F. N. Crescimento e rendimento de pimentão fertigado sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.686-694, 2011.
- Araújo, J. S.; Andrade, A. P.; Ramalho, C. I.; Azevedo, C. A. V. Cultivo do pimentão em condições protegidas sob diferentes doses de nitrogênio via fertigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.559-565, 2009.
- Campos, V. B.; Oliveira, A. P.; Cavalcante, L. F.; Prazeres, S. S. Rendimento do pimentão submetido ao nitrogênio aplicado via água de irrigação em ambiente protegido. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.8, p.72-79, 2008.
- Castellane, P. D.; Araújo, J. A. C. Cultivo sem solo: Hidroponia. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 43p.
- Charlo, H. C. O.; Oliveira, S. F.; Castoldi, R.; Vargas, P. F.; Braz, L. T.; Barbosa, J. C. Growth analysis of sweet pepper cultivated in coconut fiber in a greenhouse. *Horticultura Brasileira*, v.29, p.316-323, 2011.
- Dias, N. S.; Duarte, S. N.; Medeiros, J. F.; Teles Filho, J. F. Salinidade e manejo da fertigação em ambiente protegido. II: Efeitos sobre o rendimento do meloeiro. *Irriga*, v.11, p.376-383, 2006.
- Dias, N. S.; Duarte, S. N.; Silva, E. F. F.; Folegatti, M. V. Manejo da fertirrigação utilizando extratores de solução do solo. Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. 23p. Série produtor rural, 25.
- Dias, N. S.; Duarte, S. N.; Teles Filho, J. F.; Yoshinaga, R. T. Salinização do solo por aplicação de fertilizantes em ambiente protegido. *Irriga*, v.12, p.135-143, 2007.
- Eloi, W. M.; Duarte, S. N.; Soares, T. M.; Silva, E. F. F.; Miranda, J. H. Rendimento comercial do tomateiro em resposta à salinização ocasionada pela fertigação em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.471-476, 2011.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 399p.
- Erickson, A. N.; Markhart, A. H. Flower production, fruit set, and physiology of bell pepper during elevated temperature and vapor pressure deficit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.126, p.697-702, 2001.
- Ferreira, D. F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Científica Symposium*, v.6, p.36-41, 2008.
- Fontes, P. C. R.; Dias, E. N.; Graça, R. N. Acúmulo de nutrientes e método para estimar doses de nitrogênio e de potássio na fertirrigação do pimentão. *Horticultura Brasileira*, v.23, p.275-280, 2005.
- Freitas, K. K. C. Produção, qualidade e acúmulo de macronutrientes em pimentão cultivado sob arranjos espaciais e espaçamentos na fileira. Mossoró: UFERSA, 2009. 110p. Tese Doutorado
- Leonardo, M.; Broetto, F.; Villas Boas, R. L.; Marchese, J. A.; Tonin, F. B.; Regina, M. Estado nutricional e componentes da produção de plantas de pimentão conduzidas em sistema de fertirrigação durante indução de estresse salino em cultivo protegido. *Bragantia*, v.67, p.883-889, 2008.
- Maas, E. V.; Holfman, G. J. Crop salt tolerance. In: Tanji, K. K. (ed) *Agricultural salinity assesment and management manual*. New York: ASCE, 1990. v.13, p.262-304.
- Marcussi, F. F. N.; Godoy, L. J. G.; Villas Bôas, R. L. Fertigação nitrogenada e potássica na cultura do pimentão baseada no acúmulo de N e K pela planta. *Irriga*, v.9, p.41-51, 2004.
- Medeiros, P. R. F.; Duarte, S. N.; Dias, C. T. S. Tolerância da cultura do pepino à salinidade em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, p.406-410, 2009.
- Medeiros, P. R. F.; Duarte, S. N.; Silva, E. F. F. Eficiência do uso de água e de fertilizantes no manejo de fertirrigação no cultivo do tomateiro sob condições de salinidade do solo. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, p.344-351, 2012.
- Melo, A. S.; Brito, M. E. B.; Dantas, J. D. M.; Silva Júnior, C. D.; Fernandes, P. D. Bonfim, L. V. Produção e qualidade do pimentão amarelo sob níveis de potássio em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, p.17-21, 2009.
- Oliveira, F. A.; Medeiros, J. F.; Duarte, S. N.; Silva Júnior, M. J.; Campelo, C. M. Calibração de extratores providos de cápsula porosa para monitoramento da salinidade e da concentração de íons. *Engenharia Agrícola*, v.31, p.520-528, 2011.
- Pagamas, P.; Nawata, E. Sensitive stages of fruit and seed development of chili pepper (*Capsicum annuum* L. var. Shishito) exposed to high-temperature stress. *Scientia Horticulturae*, v.117, p.21-25, 2008.
- Silva, E. F. F.; Anti, G. R.; Carmello, Q. A. C.; Duarte, S. N. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. *Scientia Agrícola*, v.57, p.785-789, 2000.
- Silva, E. M.; Lima, C. J. G. S.; Duarte, S. N.; Barbosa, F. S.; Maschio, R. Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características da berinjela cultivada em ambiente protegido. *Revista Ciência Agronômica*, v.44, p.150-158, 2013.
- Silva Júnior, M. J.; Duarte, S. N.; Oliveira, F. A.; Medeiros, J. F.; Dutra, I. Resposta do meloeiro à fertigação controlada através de íons da solução do solo: Desenvolvimento vegetativo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.715-722, 2010.
- Silva, M. A. G.; Boaretto, A. E.; Fernandes, H. G.; Scivittaro, W. B. Efeito do cloreto de potássio na salinidade de um solo cultivado com pimentão, *Capsicum annuum* L., em ambiente protegido. *Acta Scientiarum*, v.23, p.1085-1089, 2001.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Plant physiology*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719p.