

# Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação

Thieres George Freire da Silva<sup>1</sup>, Sérgio Zolnier<sup>2</sup>, José Antonio Saraiva Grossi<sup>3</sup>, José Geraldo Barbosa<sup>4</sup>, Carlos Roberto Weide Moura<sup>5</sup>, Moisés Alves Muniz<sup>6</sup>

## RESUMO

Poucos estudos experimentais foram realizados para analisar o crescimento do girassol ornamental em condições de ambiente protegido. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva na produção e partição de matéria seca do girassol ornamental. O experimento foi conduzido em delineamento completamente casualizado, com três tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram dos níveis de CE de 0,5; 3,5; e 6,5 dSm<sup>-1</sup>, que foram aplicados em duas fertirrigações diárias ao longo do período experimental. As variáveis biométricas foram obtidas durante nove campanhas de medições, a partir de 14 dias após a semeadura (DAS). Aos 70 DAS, verificou-se que os valores de condutividade elétrica de 3,5 e 6,5 dSm<sup>-1</sup> promoveram reduções significativas na massa seca total das plantas, das folhas, das hastes, das raízes e dos capítulos, além de afetar a altura das plantas e a área foliar. A massa seca total das plantas submetidas aos tratamentos de 3,5 e 6,5 dSm<sup>-1</sup> foram, respectivamente, 26 e 63% inferiores em relação às mantidas a 0,5 dSm<sup>-1</sup>. Constatou-se também que o modelo sigmoidal com três parâmetros, tendo o tempo térmico acumulado como variável independente, proporcionou melhor ajuste aos dados de matéria seca total e das folhas, índice de área foliar e altura das plantas. Os coeficientes de determinação variaram de 0,9596 a 0,9917 para as variáveis mencionadas e os níveis de CE. Esse modelo e os parâmetros pertinentes possibilitaram a determinação posterior de vários índices morfofisiológicos.

**Palavras-chave:** Floricultura, *Helianthus annuus* L., salinidade, irrigação.

## ABSTRACT

### Growth of the ornamental sunflower cultivated in protected environment under different levels of electrical conductivity of fertirrigation

Few experimental studies have been carried out to analyze crop growth of the ornamental sunflower under protected environment conditions. Thus, the objective of this work was to evaluate the electrical conductivity of the nutrient solution (EC) effect on the amount and dry matter partition of the ornamental sunflower. The experiment was carried out in a complete randomized design with three treatments and three replications. The treatments consisted of the EC values of 0.5, 3.5 and 6.5 dSm<sup>-1</sup> which were applied as fertirrigations twice a day during the experimental period. The biometric variables were obtained during 9 measurement campaigns starting fourteen days after sowing (DAS). After the 70 DAS, it was observed that the EC levels of 3.5 and 6.5 dSm<sup>-1</sup> promoted significant dry mass reductions in the

Recebido para publicação em novembro de 2008 e aprovado em agosto de 2009

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H.Rolfs s/no., 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, thieres.silva@ufv.br

<sup>2</sup>Engenheiro Agrícola, PhD. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H.Rolfs s/no., 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, zolnier@ufv.br

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo, PhD. Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H.Rolfs s/no., 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, jgrossi@ufv.br

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor. Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H.Rolfs s/no., 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, jgeraldo@ufv.br

<sup>5</sup>Graduação em Meteorologia, Mestre. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, INPE, Av. dos Astronautas 1758, Jd. Granja, 12227-010, São José dos Campos, São Paulo, Brasil, carloswmoura@hotmail.com

<sup>6</sup>Engenheiro Agrônomo, Mestre. Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H.Rolfs s/no., 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, mam34503@bol.com.br

whole plant, leaf, stem, root and flower, besides affecting plant height and leaf area. The whole dry mass of the plants subjected to 3.5 and 6.5 dSm<sup>-1</sup> treatments were respectively 26 and 63% lower than those maintained under the 0.5 dSm<sup>-1</sup> level. It was also noted that the sigmoid model with three parameters, using accumulated thermal time as independent variable, provided the best adjust to the experimental data of the whole dry mass, leaf dry mass, leaf area index and plant height. The determination coefficients ranged from 0.9596 to 0.9917 for all mentioned variables and EC levels. This model and the pertinent parameters allowed further determination of several morpho-physiological indexes.

**Key words:** Floriculture, *Helianthus annuus* L., salinity, irrigation.

## INTRODUÇÃO

Em decorrência do aumento de exigência do mercado consumidor e do alto valor agregado das espécies ornamentais, atualmente a floricultura é uma das atividades que mais tem investido no avanço de tecnologia, visando à otimização do sistema de produção, principalmente em ambiente protegido. Esse avanço vem ocorrendo paralelamente ao desempenho ascendente do mercado de flores que, nos últimos anos, tem contribuído para o superávit da balança comercial brasileira. Em 2007, as exportações de flores atingiram o patamar de US\$ 35,3 milhões, 9,1% de aumento em relação ao ano anterior. Apesar do aumento concomitante das importações, o saldo comercial foi de US\$ 10,8 milhões, proporcionando acréscimo de 3,9% em relação ao ano anterior (Instituto de Economia Agrícola, 2008). Esses dados demonstram os avanços e a importância do setor para a economia brasileira.

O cultivo em ambiente protegido maximiza a taxa de crescimento das espécies vegetais e, em razão disso, possibilita a redução do ciclo da cultura. Em sistemas projetados para produção de flores, essas vantagens são decorrentes do estabelecimento de um microclima mais favorável ao crescimento e desenvolvimento das plantas em relação ao cultivo em campo, à redução de lixiviação de nutrientes e à aplicação de defensivos (Vásquez *et al.*, 2005).

Na área de floricultura, poucos estudos foram conduzidos visando à análise de crescimento para estabelecer a resposta efetiva das espécies vegetais diante das diferentes condições de cultivo em ambientes protegidos. Nesse contexto se enquadra o girassol ornamental, que proporciona flores com excelente qualidade, mesmo sob ampla faixa de condições de manejo. No entanto, o estresse hídrico diminui o crescimento e a produtividade das plantas, devido à redução das taxas de divisão e de expansão celular que, por sua vez, são afetadas pelo potencial de água no interior das células (Kiani *et al.*, 2007).

Katerji *et al.* (2000) classificaram o girassol como cultura moderadamente tolerante às condições de salinidade. No entanto, a depender do genótipo e da quantidade de sais, o girassol pode apresentar alterações consideráveis no metabolismo, na anatomia e morfologia, resultando em

redução de crescimento e de desenvolvimento. Esta redução pode ser decorrente de modificações na alocação de matéria seca, na relação de íons presentes na solução nutritiva, no potencial de água na planta, nas reações bioquímicas ou mesmo da combinação de muitos fatores fisiológicos (Sohan *et al.*, 1999).

Devido à complexidade de interação entre os vários fatores que influenciam os processos fisiológicos, a análise de crescimento é uma técnica que permite identificar diferenças morfológicas, assim como quantificar a produção líquida resultante do processo fotossintético (Benincasa, 1988; Fontes *et al.*, 2005). Vários índices morfofisiológicos têm sido utilizados para analisar diferenças de crescimento entre indivíduos de comunidades vegetais. Dentre eles, os mais empregados são a taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF), razão da massa foliar (RMF) e a área foliar específica (AFE) (Fernandes *et al.*, 1995; Tei *et al.*, 1996; Monteiro, 2001; Lyra *et al.*, 2003).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva, aplicada sob fertirrigação, na produção e partição da matéria seca do girassol ornamental, cultivado em substrato comercial acondicionado em vasos plásticos e ambiente protegido.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação não-climatizada, pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. Os dados geográficos do local onde o experimento foi conduzido são: 20° 45' 45" de latitude sul, 42° 52' 04" de longitude oeste e 690 m de altitude. O material de cobertura era constituído de vidro, sobre estrutura metálica.

As variáveis meteorológicas monitoradas durante o período experimental foram temperatura e umidade do ar, radiação solar e radiação fotossinteticamente ativa. Os sensores foram posicionados a cerca de 50 cm acima do nível do dossel vegetativo e 1,5 m do piso da casa de vegetação, utilizando-se uma plataforma metálica. Os sensores de temperatura e umidade relativa do ar foram

instalados no interior de um abrigo ventilado, para evitar o efeito da radiação solar sobre as medições. Os sensores foram conectados a um sistema automático de monitoramento, composto por uma placa aquisição de dados (Modelo CYDAS 1602HR, CyberResearch, Branford-CT, Estados Unidos), instalada em um microcomputador. Os seguintes sensores foram utilizados: conjugado de temperatura e umidade relativa do ar (Modelo HUM50Y, Vaisala, Helsinki, Finlândia), de radiação solar global (Modelo LI-210SA, Licor Inc., Lincoln-NE, Estados Unidos) e de radiação fotossinteticamente ativa (Modelo LI-190SA, Licor Inc., Lincoln-NE, Estados Unidos).

O material biológico foi obtido de sementes comerciais de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L., variedade Dobrada Amarela Anã) para cultivo em vaso. O volume de substrato utilizado foi de aproximadamente 0,5 L, constituído de produto comercial à base de material orgânico de origem vegetal e de vermiculita expandida. A semeadura foi no dia 05/12/2006 e, posteriormente, houve desbaste, mantendo-se uma única planta em cada vaso, proporcionando densidade de plantio de 25 plantas por metro quadrado.

Foi adotado o delineamento experimental completamente casualizado, com três tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram de soluções nutritivas com níveis de condutividade elétrica (CE) de 0,5; 3,5; e 6,5 dS m<sup>-1</sup>; sendo o primeiro considerado como o tratamento-testemunha. Esses valores foram selecionados por serem comuns em estudos de efeito da salinidade sobre plantas de girassol (Rawson & Munns, 1984; Katerji *et al.*, 1994; 2000; Steduto *et al.*, 2000; Flagella *et al.*, 2004). Os tratamentos foram aplicados a partir do dia 15/12/2006.

Para preparo dos distintos níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva aplicada nas fertirrigações foram utilizadas soluções diluídas, obtidas a partir de uma solução concentrada que, por sua vez, foi preparada com o fertilizante comercial denominado de “*Peters Professional*”. Esse fertilizante possuía a seguinte composição: 20% de N, 20% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20% K<sub>2</sub>O, 0,05% Mg, 0,0068% de B, 0,0036% de Cu, 0,05% de Fe, 0,025% de Mn, 0,0009% de Mo e 0,0025% de Zn.

A quantidade de solução nutritiva aplicada em cada evento de fertirrigação variou no decorrer do período experimental, de maneira que sempre houvesse um excedente de, aproximadamente, 50%. O volume máximo aplicado em cada vaso foi de, aproximadamente, 200 mL, o qual foi administrado no final do ciclo do girassol em dias caracterizados por elevada evapotranspiração. O controle dos níveis de CE preconizados para os três tratamentos, assim como o monitoramento da solução nutritiva percolada, foi conduzido por meio de um condutivímetro portátil (Modelo CDH-42, Omega, Stamford, Estados Unidos).

Para determinação da partição de matéria seca do girassol ornamental, foi obtida, separadamente, a massa seca das folhas (MSF), da haste (MSH), das raízes (MSR) e do capítulo (MSC), possibilitando, posteriormente, a determinação da massa seca total das plantas (MSP). Além disso, foi determinada a área foliar (AF), a altura da planta (AP) e o diâmetro da haste (DH) e do capítulo (DC). Finalmente, por meio dos dados de área foliar, também foi determinado o índice de área foliar, considerando a relação entre a AF e o espaçamento entre plantas e fileiras dos tratamentos (20 x 20 cm). Essas medições foram iniciadas duas semanas após a semeadura (14 DAS) e, posteriormente, realizadas semanalmente a partir da amostragem de três plantas provenientes de cada tratamento.

No total, foram conduzidas nove campanhas de medição ao longo do período experimental, que foi concluído no dia 13/02/2007, totalizando a amostragem de 81 plantas. Para eliminar o efeito de bordadura, plantas adicionais foram dispostas em torno dos tratamentos (duas fileiras de plantas). Ao longo do experimento, foram utilizadas práticas de monitoramento de pragas e doenças, tendo ocorrido o encerramento do experimento antes do início da senescência das plantas.

Para obtenção da matéria seca, foi utilizada balança de precisão (Modelo MARK 210A, Bel Engineering, Monza-MI, Itália), onde o material amostrado foi pesado até se verificar peso constante, após a secagem em estufa de ventilação forçada a 65 °C. A área foliar (AF) foi obtida a partir de um medidor de área foliar (Modelo LI-3000, Licor Inc., Lincoln-NE, Estados Unidos), e o índice de área foliar (IAF) associado foi obtido por meio da relação entre o valor de AF e a área destinada para cada planta (20 x 20 cm) na bancada de crescimento.

Os dados obtidos ao longo do período experimental foram avaliados estatisticamente por meio da análise de variância – ANOVA, sendo os efeitos individuais dos tratamentos obtidos pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para modelagem da matéria seca total das plantas (MSP), matéria seca das folhas (MSF), índice de área foliar (IAF) e altura das plantas (AP) ao longo do período de crescimento, os dados foram submetidos a análises de regressão não-linear. Entretanto, em razão da importância da temperatura no crescimento vegetal, foi utilizado o tempo térmico em vez do número de dias transcorridos após a semeadura. Assim, o tempo térmico foi determinado com base no número de graus-dia acumulados desde a semeadura até o final do experimento, adotando a temperatura base de 7,2 °C (Robinson, 1971). Finalmente, com base nos modelos de regressão ajustados, obteve-se a taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de crescimento relativo (TCR), área foliar específica (AFE), taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF) e razão de massa foliar (RMF), conforme descrito por Benincasa (1988).

A equação utilizada para descrever a variação da taxa de crescimento da cultura (TCC) para os três níveis de CE foi obtida analiticamente a partir da derivação do modelo sigmoidal com três parâmetros em relação à variável independente “graus-dia acumulados após a semeadura” (GD). Similarmente, a equação utilizada para descrever o comportamento da taxa de crescimento relativo (TCR) foi obtida a partir da solução analítica da relação  $TCR = TCC / MSP$ . Por outro lado, as curvas de AFE, TAL, RAF e RMF, correspondentes às Figuras 3C, 3D, 3E e 3F, foram traçadas com base no cálculo das relações  $AFE = IAF / MSF$ ,  $TAL = TCC / IAF$ ,  $RAF = IAF / MSP$  e  $RMF = MSF / MSP$ .

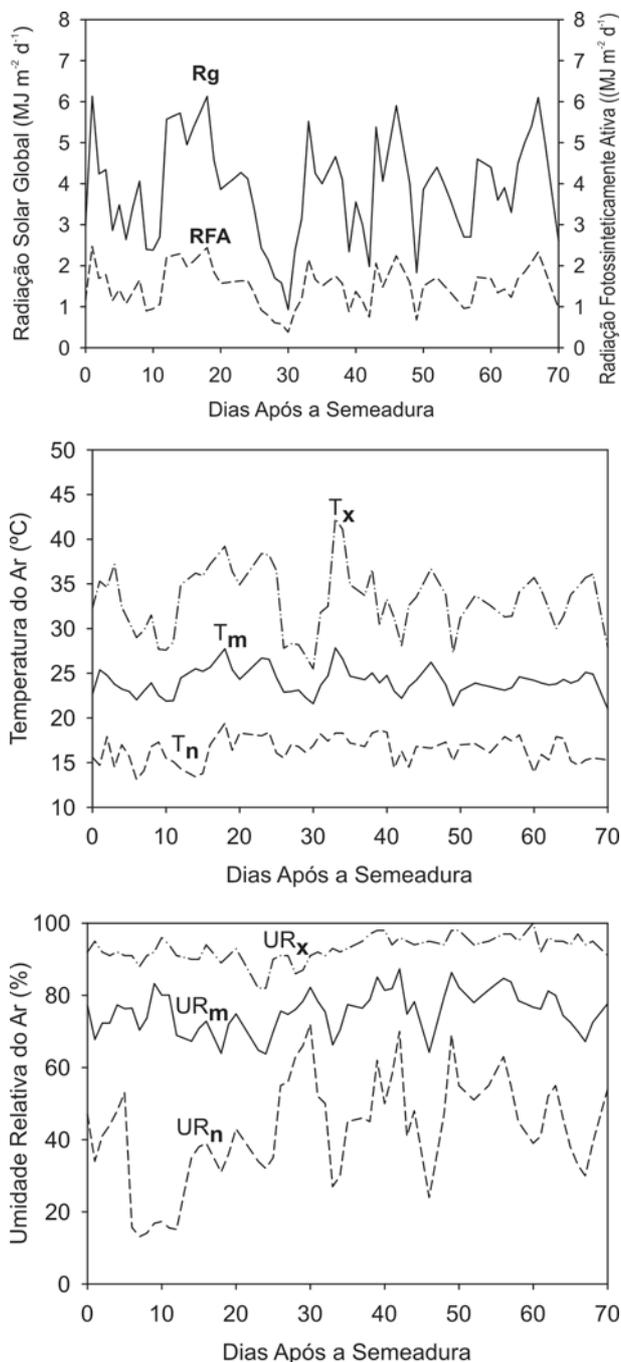
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados meteorológicos, monitorados no interior da casa de vegetação, variaram bastante ao longo do período de crescimento do girassol ornamental (Figura 1). A radiação solar global incidente, acumulada ao longo do período diurno, variou de 0,93 a 6,13  $MJm^{-2}dia^{-1}$ , tendo, em média, 39% da radiação solar transmitida para o interior da instalação correspondido à radiação fotossinteticamente ativa. As temperaturas mínimas e máximas absolutas foram iguais a 13,1 e 42,3 °C, respectivamente. Além disso, a umidade relativa média diária variou de 13 a 100% ao longo do período experimental. A temperatura máxima de 42,3 °C esteve acompanhada da umidade relativa de 30%. Estes valores combinados aumentaram o déficit de saturação de vapor d'água no ar, estabelecendo condições propícias para intensificação da evapotranspiração da cultura.

Ao longo do período experimental, foi possível observar que, mesmo utilizando o excedente de fertirrigação de 50% em relação à demanda de água da planta, como recomendado por Flagella *et al.* (2004), houve aumento dos valores de condutividade elétrica da solução lixiviada dos três tratamentos, o que caracteriza o acúmulo de sais no substrato. Para o tratamento com solução nutritiva mais diluída, a condutividade elétrica da solução drenada variou de 0,5  $dSm^{-1}$ , 15 DAS (dias após a semeadura), até 0,92  $dSm^{-1}$  aos 60 DAS, enquanto para o tratamento com diluição intermediária variou de 3,5  $dSm^{-1}$  a 5,57  $dSm^{-1}$ . No tratamento com a concentração máxima, o valor da CE variou de 6,5  $dSm^{-1}$  a 9,78  $dSm^{-1}$  nas mesmas datas.

O acúmulo de sais fertilizantes no substrato reflete a importância da utilização de soluções nutritivas com concentrações variáveis, de acordo com a demanda de água imposta pelas condições ambientais. Entretanto, o monitoramento e o controle da CE em sistemas de cultivo somente podem ser implementados por meio de sistemas computadorizados (Zolnier, 2004). Neste experimento, embora houvesse concentração de sais ao longo do período experimental, os valores da CE da solução aplicada sempre foram ajustados manualmente para os níveis de 0,5; 3,5; e 6,5  $dSm^{-1}$ .

Não foram observadas diferenças significativas de acúmulo de matéria seca aos 14 DAS, data que corresponde a quatro dias após o início dos tratamentos (Tabela 1). No entanto, constatou-se redução significativa dos valores de todas as variáveis analisadas no final do ciclo da cultura (70 DAS), sendo essas diferenças também observadas para MSP (entre todos os níveis de CE), MSF e MSR



**Figura 1.** Variação da radiação solar global (Rg), radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR) durante o período de cultivo do girassol ornamental em Viçosa-MG. Os símbolos subscritos “x”, “n” e “m”, correspondem aos valores máximos, mínimos e médios observados diariamente.

(entre as CE de 0,5 e 6,5) aos 42 DAS, data que corresponde à metade do ciclo, aproximadamente.

Aos 70 DAS, as massas secas totais (MSP) das plantas submetidas aos tratamentos com 3,5 e 6,5 dSm<sup>-1</sup> foram respectivamente 26 e 63% inferiores em relação às mantidas a 0,5 dSm<sup>-1</sup>. Similarmente, tomando-se como referência 0,5 dSm<sup>-1</sup>, os valores de MSF, MSH, MSR e MSC apresentaram reduções de 19, 29, 59 e 26% para o tratamento com 3,5 dSm<sup>-1</sup> e 55, 65, 68 e 218% para o tratamento com 6,5 dSm<sup>-1</sup>. Reduções na massa seca das raízes, após o aumento das concentrações de sais na água de irrigação, também foram relatadas por Wahid *et al.* (1999).

Observam-se diferenças significativas no que se refere à AP, AF, DH e DC aos 42 e 70 DAS, com exceção do diâmetro da haste (DH) no final do ciclo da cultura (70 DAS) (Tabela 2). As plantas submetidas ao tratamento de 3,5 dSm<sup>-1</sup> e 6,5 dSm<sup>-1</sup> foram, respectivamente, 37 e 50% mais baixas e apresentaram área foliar 30 e 66% menor do que aquelas que receberam o tratamento de 0,5 dSm<sup>-1</sup>.

De acordo com Sohan *et al.* (1999) e Urchei *et al.* (2000), o aumento da concentração de sais no solo tende a redu-

zir significativamente os níveis de consumo de água das plantas. Esse fato também foi relatado por Katerji *et al.* (1994) que, em condições de campo, constataram reduções significativas na matéria seca e na área foliar do girassol em resposta a ligeiro decréscimo do potencial de água na folha.

Em virtude da sua alta adaptabilidade, a expansão foliar do girassol é ajustada conforme a disponibilidade de água, mantendo a pressão de turgor adequada na parede das células (Steduto *et al.*, 2000). No entanto, em condições excessivas de salinidade, correspondentes aos tratamentos de 3,5 e 6,5 dSm<sup>-1</sup>, as plantas têm limitações para realizar o ajuste do potencial osmótico dentro das células, resultando, com isso, na redução do crescimento (Katerji *et al.*, 1996).

Adicionalmente, constatou-se que o aumento da condutividade elétrica das fertirrigações tendeu a atrasar o florescimento das plantas do girassol ornamental (dados não mostrados). Contudo, reduções significativas no diâmetro do capítulo, em relação ao tratamento com CE de 0,5 dSm<sup>-1</sup>, somente foram detectadas em plantas que receberam fertirrigações com 6,5 dSm<sup>-1</sup>.

**Tabela 1.** Valores médios das massas secas totais (MSP), das folhas (MSF), das hastes (MSH), das raízes (MSR) e dos capítulos (MSC) de plantas de girassol cultivadas em três níveis de condutividade elétrica (CE) da água de fertirrigação. Avaliações aos 14, 42 e 70 dias após a semeadura (DAS)

DAS	CE(dSm <sup>-1</sup> )	MSP(gm <sup>-2</sup> )	MSF(gm <sup>-2</sup> )	MSH(gm <sup>-2</sup> )	MSR(gm <sup>-2</sup> )	MSC(gm <sup>-2</sup> )
14	0,5	0,91 a	0,34 a	0,36 a	0,21 a	–
	3,5	0,73 a	0,29 a	0,26 a	0,18 a	–
	6,5	0,89 a	0,35 a	0,35 a	0,19 a	–
42	0,5	46,3 a	23,1 a	3,49 a	18,9 a	0,80 a
	3,5	33,6 b	23,1 a b	2,86 a	6,6 ab	1,14 a
	6,5	17,8 c	12,0 c	2,83 a	1,94 bc	1,03 a
70	0,5	237 a	77,3 a	78 a	27,8 a	54 a
	3,5	176 b	62,9 b	55 b	17,5 b	40 b
	6,5	88 c	34,8 c	27 bc	9,0 c	17 c

Valores seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes com base no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 2.** Valores médios das alturas das plantas (AP), das áreas foliares (AF), dos diâmetros das hastes (DH) e dos capítulos (DC) do girassol ornamental em três níveis de condutividade elétrica (CE) da água de fertirrigação. Avaliações aos 14, 42 e 70 dias após a semeadura (DAS)

DAS	CE(dSm <sup>-1</sup> )	AP(cm)	AF(cm <sup>2</sup> )	DH(cm)	DC(cm)
14	0,5	3,0 a	4,8 a	0,20 a	–
	3,5	2,4 a	3,2 a	0,16 a	–
	6,5	3,1 a	4,6 a	0,20 a	–
42	0,5	11,9 a b	345 a	0,48 a	–
	3,5	10,4 bc	286 ab	0,47 a b	–
	6,5	8,9 c	139 bc	0,35 bc	–
70	0,5	35,3 a	858 a	0,67 a	5,43 a
	3,5	22,3 b	600 b	0,58 a	5,42 a
	6,5	17,5 c	294 c	0,50 a	4,00 c

Valores seguidos pela mesma letra não são significativamente diferentes com base no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

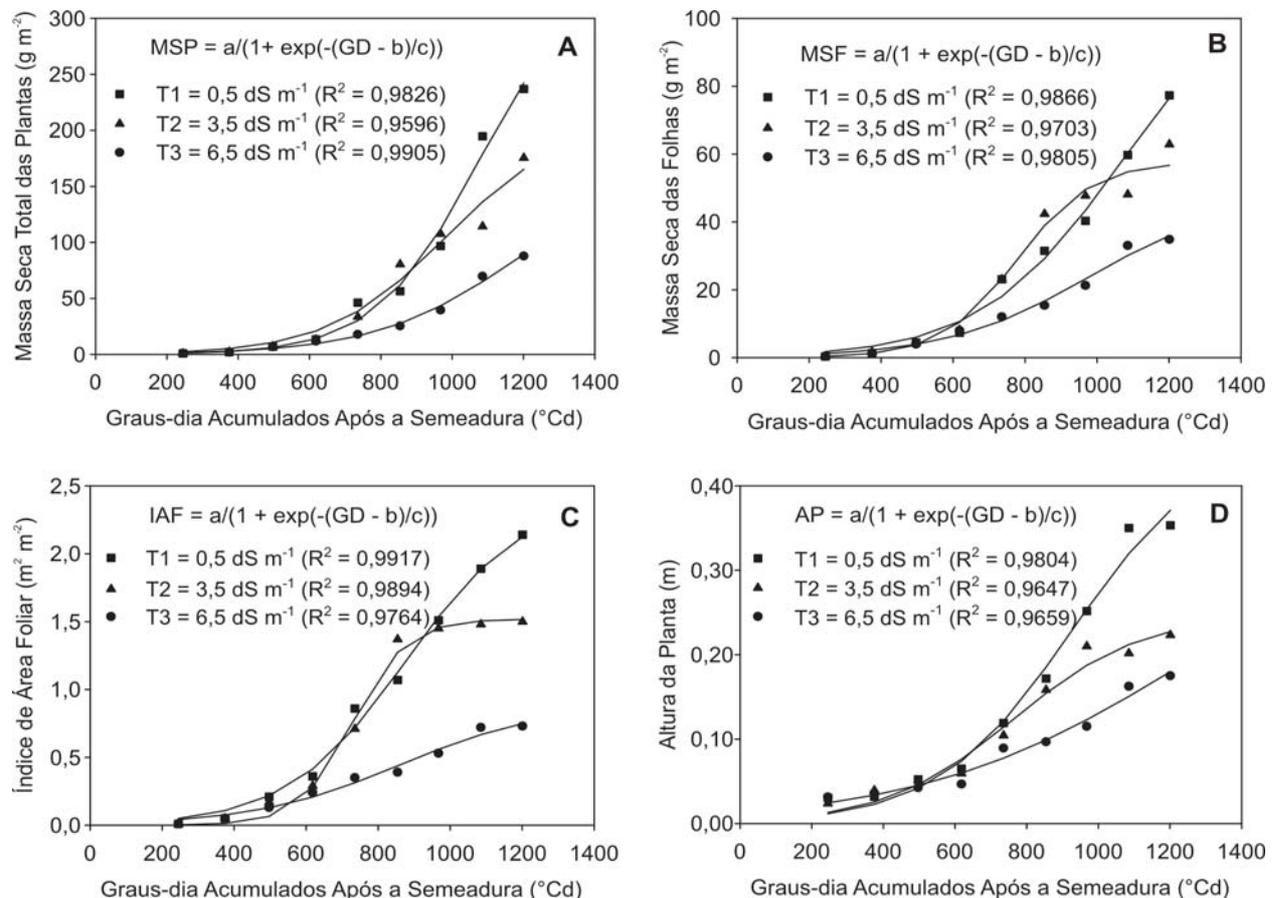
O modelo sigmoidal com três parâmetros foi o que melhor se ajustou às variáveis massa seca total das plantas (MSP) e massa seca das folhas (MSF), além do índice de área foliar (IAF) e da altura da planta (AP) (Figura 2), apresentando parâmetros significativos a 5% de probabilidade (Tabela 3). Os coeficientes de determinação variaram de 0,9596 a 0,9905 (Figura 2A), 0,9703 a 0,9866 (Figura 2B), 0,9764 a 0,9917 (Figura 2C) e 0,9647 a 0,9804 (Figura 2D) para MSP, MSF, IAF e AP, respectivamente. Os coeficientes obtidos indicam alta correlação entre essas variáveis e o tempo térmico acumulado, independentemente do nível de CE da solução nutritiva. Silva Júnior *et al.* (2006) também relataram o excelente ajuste do modelo sigmoidal aos dados de matéria seca acumulada durante o ciclo de crescimento do meloeiro “pele-de-sapo”.

As curvas ajustadas pelo modelo sigmoidal para MSP, MSF e IAF foram bastante similares para os tratamentos com CE de 0,5 e 3,5 dSm<sup>-1</sup> até aproximadamente 1.000 °Cd e para AP até 800 °Cd. A partir desse ponto, as plantas com CE de 3,5 dSm<sup>-1</sup> tiveram crescimento inferior (Figura 2). Por outro lado, em relação ao tratamento com CE de 6,5 dSm<sup>-1</sup>, as curvas ajustadas para MSP, MSF e IAF foram inferiores aos outros dois tratamentos logo após os 600 °Cd.

Após o ajuste do modelo sigmoidal aos dados experimentais de acúmulo de matéria seca total das plantas, matéria seca das folhas e índice de área foliar, foram determinadas as curvas da taxa de crescimento da cultura (TCC), a taxa de crescimento relativo (TCR), área foliar específica (AFE), taxa de assimilação líquida (TAL), razão de área foliar (RAF) e a razão de massa foliar (RMF), conforme apresentado nas Figuras 3A, 3B, 3C, 3D, 3E e 3F, respectivamente.

A taxa de crescimento da cultura (TCC) apresentou três fases bem definidas, em que a primeira é caracterizada por acúmulo lento da matéria seca, a segunda é constituída por um período de crescimento rápido e na última a TCC diminui drasticamente para os níveis de CE de 0,5 e 3,5 dSm<sup>-1</sup> e se estabiliza para o nível de CE de 6,5 dSm<sup>-1</sup> (Figura 3A). Os valores máximos de TCC foram 0,6; 0,35 e 0,25 gm<sup>-2</sup>°Cd<sup>-1</sup>, os quais foram constatados aos 1.100, 1.000 e 1.200 °Cd para os níveis de CE de 0,5; 3,5 e 6,5 dSm<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em contraste, a taxa de crescimento relativo (TCR) foi máxima na fase inicial do ciclo da cultura, mantendo-se aproximadamente constante até 600 °Cd (Figura 3B). Nessa fase, os valores máximos aproximados da TCR foram



**Figura 2.** Ajuste do modelo sigmoidal aos valores observados de massa seca total (A), massa seca das folhas (B), índice de área foliar (C) e altura de plantas (D) de girassol ornamental submetidas à aplicação de água de irrigação com três tratamentos (T) de condutividade elétrica em Viçosa-MG.

**Tabela 3.** Parâmetros do modelo sigmoidal ajustado aos valores observados de massa seca total (MSP), massa seca das folhas (MSF), índice de área foliar (IAF) e altura das plantas (AP) de girassol ornamental cultivadas em três níveis de condutividade elétrica (CE) da água de fertirrigação. Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao erro padrão de estimativa dos parâmetros

	CE (dSm <sup>-1</sup> )	Parâmetros do Modelo Sigmoidal		
		a	b	c
MSP	0,5	338,2 (± 74,2)	1068,6 (± 73,4)	143,1 (± 28,2)
	3,5	208,9 (± 51,7)	981,4 (± 101,5)	165,2 (± 45,7)
	6,5	168,9 (± 51,4)	1178,6 (± 117,7)	198,2 (± 29,0)
MSF	0,5	115,0 (± 25,2)	1066,2 (± 94,8)	196,3 (± 31,8)
	3,5	57,7 (± 3,9)	777,4 (± 28,8)	105,0 (± 23,0)
	6,5	47,6 (± 8,7)	977,9 (± 86,6)	198,8 (± 35,7)
IAF	0,5	2,42 (± 0,17)	876,6 (± 32,0)	163,8 (± 18,2)
	3,5	1,52 (± 0,05)	730,2 (± 12,4)	74,9 (± 10,7)
	6,5	0,89 (± 0,12)	860,5 (± 71,2)	204,0 (± 36,9)
AP	0,5	0,455 (± 0,062)	924,6 (± 65,2)	186,6 (± 31,3)
	3,5	0,247 (± 0,025)	762,6 (± 53,8)	178,9 (± 35,5)
	6,5	0,387 (± 0,252)	1253,3 (± 448,2)	373,8 (± 99,1)

0,007, 0,006 e 0,005 gg<sup>-1</sup>°Cd<sup>-1</sup> para os níveis de CE de 0,5; 3,5; e 6,5 dSm<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses resultados indicam que as plantas com 6,5 dSm<sup>-1</sup> tiveram menor capacidade de aumentar a produção de matéria seca por unidade de tempo em relação à massa inicial, fato que também foi constatado por Wahid *et al.* (1999). A redução da TCR no final do ciclo da cultura pode ser explicada pelo auto-sombreamento e pelo menor incremento de área foliar ao longo do ciclo da cultura (Urchei *et al.*, 2000).

A área foliar específica (AFE) demonstrou comportamento bem diferenciado para o nível de CE de 6,5 dSm<sup>-1</sup>, caracterizado por decréscimos contínuos a partir de 200 °Cd, aproximadamente (Figura 3C). Em contraste, para os níveis de CE de 0,5 e 3,5 dSm<sup>-1</sup>, a AFE aumentou até alcançar valores de 0,04 e 0,035 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> aos 700 °Cd e, posteriormente, apresentou comportamento decrescente. Em decorrência do aumento da salinidade, as plantas submetidas ao tratamento com 6,5 dSm<sup>-1</sup> tenderam a apresentar folhas mais espessas, resultando, com isso, em menor interceptação de radiação ao longo do experimento quando comparado com as plantas submetidas a 0,5 dSm<sup>-1</sup> e 3,5 dSm<sup>-1</sup>.

Em contraste à AFE, houve redução rápida da taxa de assimilação líquida (TAL) para o nível de 3,5 dSm<sup>-1</sup> no início do ciclo da cultura, estabilização em fase intermediária e decréscimo a partir de 100 °Cd (Figura 3D). Por outro lado, a TAL somente se reduziu após o acúmulo de 1.000 e 1.100 °Cd para os níveis de CE de 0,5 e 6,5 dSm<sup>-1</sup>, respectivamente.

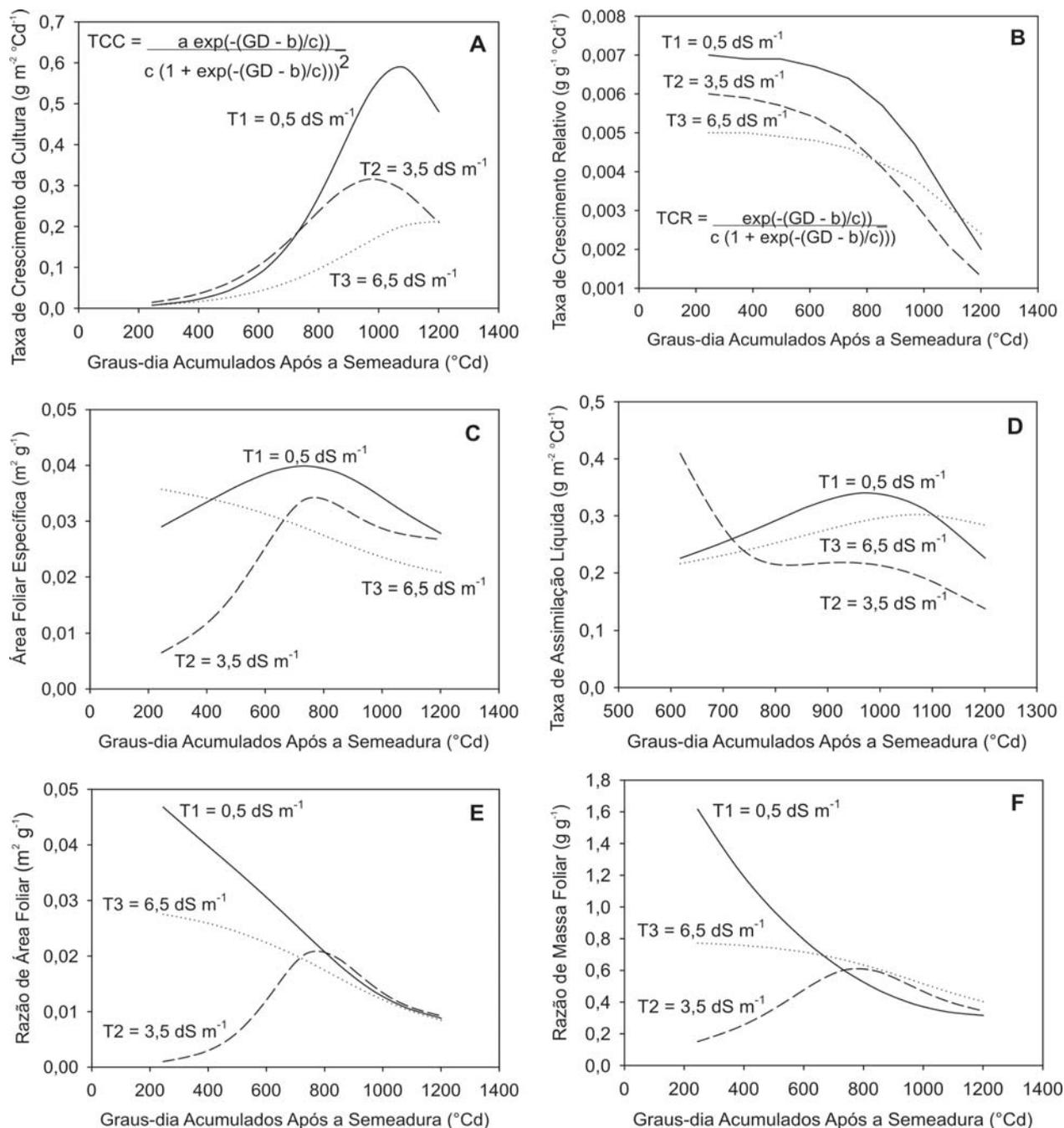
Os valores de TAL representam o balanço entre o material produzido pela fotossíntese e o perdido através da respiração, ocorrendo diminuição progressiva no final do ciclo. As plantas do tratamento com 0,5 dSm<sup>-1</sup> alcançaram maior produção líquida a partir da metade do ciclo da cultura, o que está associado à maior área foliar e matéria

seca produzidas. Essas propriedades conferem à planta maior interceptação e assimilação de energia fotossinteticamente ativa e, conseqüentemente, maior eficiência na absorção de nutrientes (Millar & Gardner, 1972).

A razão de área foliar (RAF) e a razão de massa foliar (RMF) apresentaram comportamentos semelhantes, com convergência dos seus valores após o acúmulo de 1200 °Cd (Figuras 3E e 3F, respectivamente). Assim, no final do ciclo a RAF e a RMF foram, respectivamente, 0,01 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup> e 0,4 gg<sup>-1</sup> para os três níveis de CE avaliados.

A RAF apresentou tendência de aumento no início do ciclo da cultura, indicando que, durante essa fase, as plantas converteram maior parte da produção fotossintética em área foliar. Porém, segundo Urchei *et al.* (2000), a partir desse período as estruturas não-fotossintetizantes, como as flores, o auto-sombreamento e a queda de folhas, reduzem os valores desse índice. Resultados semelhantes foram observados por esses autores para o feijoeiro submetido a dois sistemas de cultivo diferentes (plantio direto e convencional), em que os valores de RAF aumentaram no início do ciclo da cultura (30 e 37 dias após a emergência) para, em seguida, apresentar quedas gradativas.

No que se refere à RMF, constatou-se redução dos valores ao longo do experimento, o que indica a maior conversão do material fotossintetizante para a produção de folhas no início do ciclo da cultura, a fim de se aumentar a eficiência na interceptação de radiação e, subseqüentemente, a produção de estruturas florais. As boas condições de disponibilidade de água e nutrientes em que as plantas com 0,5 dSm<sup>-1</sup> foram submetidas promoveram distribuição maior e mais uniforme de material fotossintético para as folhas e, conseqüentemente, para as demais estruturas florais.



**Figura 3.** Variação da taxa de crescimento da cultura (A), da taxa de crescimento relativo (B), da área foliar específica (C), da taxa de assimilação líquida (D), da razão de área foliar (E) e da razão de massa foliar (F) em função dos graus-dia acumulados após a sementeira (GD) do girassol ornamental em Viçosa-MG.

## CONCLUSÃO

O aumento da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva, aplicada na forma de fertirrigação, reduz significativamente o acúmulo de massa seca total das plantas, das folhas, das hastes, das raízes e dos capítulos, além de afetar a área foliar e a altura das plantas do girassol ornamental.

O modelo sigmoidal com três parâmetros, tendo graus-dia acumulados após a sementeira como variável inde-

pendente, pode ser utilizado como ferramenta para modelagem do acúmulo de matéria seca total, matéria seca das folhas, índice de área foliar e altura das plantas de girassol ornamental, exibindo coeficiente de determinação acima de 0,95, independentemente das variáveis mencionadas e do nível de concentração da condutividade elétrica.

O ajuste do modelo sigmoidal e, posteriormente, a sua derivação em relação aos graus-dia acumulados permitiram a obtenção de soluções analíticas para a estimativa

da taxa de crescimento da cultura, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida, área foliar específica, razão de área foliar e razão de massa foliar, possibilitando a avaliação desses índices ao longo do período de crescimento do girassol ornamental.

## REFERÊNCIAS

- Benincasa MMP (1988) Análise de crescimento de plantas: Noções básicas. Jaboticabal, FUNEP. 44 p.
- Fernandes AAH, Rodrigues JD, Castro PRC & Pinho SZ de (1995) Efeitos do agrostemin em plantas de soja (*Glicine max* (L.) Merrill cv. IAC-8), através dos parâmetros fisiológicos: razão de área foliar, taxa assimilatória líquida e taxa de crescimento relativo. *Scientia Agrícola*, 52:339-345.
- Flagella Z, Giuliani MM, Rotunno T, Di Caterina R & De Caro A (2004) Effect of saline water on oil yield and quality of a high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrid. *European Journal of Agronomy*, 21:267-272.
- Fontes PCR, Dias EN & Silva DJH da (2005) Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca e produção de pimentão em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 23:94-99.
- Katerji N, van Hoorn JW, Hamdy A, Karam F & Mastrorilli M (1994) Effect of salinity on emergence and on water stress and early seedling growth of sunflower and maize. *Agricultural Water Management*, 26:81-91.
- Katerji N, van Hoorn JW, Hamdy A, Karam F & Mastrorilli M (1996) Effect of salinity on water stress, growth, and yield of maize and sunflower. *Agricultural Water Management*, 30:237-249.
- Katerji N, van Hoorn JW, Hamdy A & Mastrorilli M (2000) Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agricultural Water Management*, 43:99-109.
- Kiani SP, Talia P, Maury P, Grieu P, Heinz R, Perrault A, Nishinakamasu V, Hopp E, Gentzbittel L, Paniego N & Sarrafi A (2007) Genetic analysis of plant water status and osmotic adjustment in recombinant inbred lines of sunflower under two water treatments. *Plant Science*, 172:773-787.
- Lyra, GB, Zolnier S, Costa LC, Sediyaama GC & Sediyaama MAN (2003) Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 11:69-77.
- Instituto de Economia Agrícola (2008) Floricultura: Desempenho do comércio exterior em 2007. Análises e indicadores do agronegócio, 3:1-5. Janeiro/2008. Disponível em: < <http://www.iea.sp.gov.br> >. Acessado em: 19 de agosto de 2008.
- Millar AA & Gardner WR (1972) Effect of the soil and plant water potentials on the dry matter production of snap beans. *Agronomy Journal*, 64:559-562.
- Monteiro C de A (2001) Análise de crescimento e produtividade agrícola de girassol conduzido na safrinha em cinco densidades de plantas. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 94 p.
- Rawson HM & Munns R (1984) Leaf expansion in sunflower as influenced by salinity and short-term changes in carbon fixation. *Plant, Cell & Environment*, 7:207-213.
- Robinson RG (1971) Sunflower phenology-year, variety, and date of planting effects on day and growing degree-day summation. *Crop Science*, 11:635-638.
- Silva Júnior MJ da, Medeiros JF de, Oliveira FHT de & Dutra I (2006) Acúmulo de material seca e absorção de nutrientes pelo meloeiro "pele-de-sapo". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10:364-368.
- Sohan D, Jasoni R & Zajicek J (1999) Plant-water relations of NaCl and calcium-treated sunflower plants. *Environmental and Experimental Botany*, 42:105-111.
- Steduto P, Albrizio R, Giorio P & Sorrentino G (2000) Gas-exchange response and stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation of sunflower under salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 44:243-255.
- Tei F, Scaife A & Aikman DP (1996) Growth of lettuce, onion and red beet. 1. Growth analysis, light interception, and radiation use efficiency. *Annals of Botany*, 78:633-643.
- Urchei MA, Rodrigues JD & Stone LF (2000) Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35:497-506.
- Vásquez MAN, Folegatti MV, Dias N da S & Silva CR da (2005) Efeito do ambiente protegido cultivado com melão sobre os elementos meteorológicos e sua relação com as condições externas. *Engenharia Agrícola*, 25:137-143.
- Wahid A, Masood I, Javed I & Rasul E (1999) Phenotypic flexibility as marker of sodium chloride tolerance in sunflower genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 42:85-94.
- Zolnier S (2004) Automação de sistemas de cultivo em substrato. In: Encontro Nacional sobre Substrato para Plantas, Viçosa. Anais, Universidade Federal de Viçosa. p.158-189.