

ISSN 0104-1347

Comparação de modelos para avaliação do estresse hídrico em cultura de nectarinas

Comparing models for evaluation of nectarine trees under water stress

Anice Garcia¹, Romisio Geraldo Bouhid Andre², Maria Isabel Ferreira³ e Teresa do Paço⁴

Resumo: O objetivo deste trabalho foi o de comparar três modelos de determinação do estresse hídrico: Índice de Estresse Hídrico da Cultura (CWSI), CWSI modificado e Método da Variabilidade da Temperatura do Dossel (CTV). O trabalho foi desenvolvido durante o mês de julho de 1998, em Atalaia, Portugal, sendo conduzido em pomar de nectarineiras com parcelas diferentemente irrigadas - uma não estressada (NE) mantida sem restrição hídrica durante todo o experimento, e outra estressada (E) mantida sem irrigação entre 10 e 18 de julho. Os três modelos tiveram um comportamento sazonal semelhante, no que se refere ao estresse hídrico da cultura de nectarina, entretanto o modelo CWSI modificado indicou o início do estresse um dia antes dos demais modelos, constituindo-se no modelo mais adequado para a determinação do início do estresse hídrico e conseqüentemente para o monitoramento da irrigação, nas condições estudadas.

Palavras-chave: temperatura do dossel, *Prunus persica*, estresse hídrico, termômetro a infravermelho.

Abstract: This work was carried out during July, 1998 in Portugal. Field studies were conducted on different irrigated plots with nectarine trees - one plot was fully irrigated (unstressed plot) and the other one was not irrigated during some days (stressed plot). Our aim was to compare three models for evaluation of nectarine trees water stress: model 1: Canopy Water Stress Index (CWSI), model 2: CWSI modified and model 3: canopy temperature variability (CTV). All models showed similar sazonal variations but model 2 indicated water stress one day before the others, so this model shown to be more adequate for a nectarine trees water stress for irrigation scheduling.

Key words: canopy temperature, water stress, *Prunus persica*, infrared thermometer.

Introdução

A temperatura do dossel vegetativo está diretamente relacionada com o potencial hídrico da planta, sua transpiração e conseqüentemente ao conteúdo de água no solo (IDSO et al., 1986). Com base nisso, a temperatura do dossel pode ser utilizada como meio de monitorar a irrigação das culturas.

O desenvolvimento de termômetros a infravermelho (TIV) portáteis e de baixo custo, no início dos anos 70, incrementou pesquisas sobre o

uso de sensores remotos, para medição da temperatura do dossel vegetativo, para a detecção da ocorrência de estresse hídrico. Segundo PINTER & REGINATO (1982) as principais vantagens da termometria a infravermelho sobre técnicas convencionais na detecção do estresse são a facilidade e a rapidez que as medidas de temperatura da planta podem ser realizadas.

Diversos modelos, baseados na temperatura do dossel vegetativo, obtida por termometria a infravermelho, têm sido desenvolvidos como meio

¹Eng. Agrônoma, MsC., Doutoranda, Depto. Ciências Exatas/FCAV/UNESP. E-mail: anicegar@fcav.unesp.br

²Prof. Dr. Adjunto, Depto. de Ciências/FCAV/UNESP. E-mail: randre@fcav.unesp.br

³Profª. Drª., ISA - Universidade Técnica Lisboa, Portugal. E-mail: misabelgama@isa.utl.pt

⁴Eng. Agrônoma, MsC., Doutoranda, ISA - Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. E-mail: tapaco@isa.utl.pt

de obter um indicador do estresse das culturas, permitindo um monitoramento mais eficaz da irrigação.

O modelo proposto por IDSO et al. (1981), denominado Índice de Estresse Hídrico da Cultura (Crop Water Stress Index - CWSI), baseia-se na observação de que a correlação entre a diferença “temperatura do dossel vegetativo (Tc) - temperatura do ar (Ta)” e o déficit de pressão de vapor (DPV) produz relações lineares específicas para espécies, independentemente de outros parâmetros ambientais, exceto cobertura de nuvens. Para a aplicação desse índice há necessidade de se conhecer a relação existente entre Tc-Ta e DPV para a planta em condições ausentes de estresse, portanto transpirando potencialmente, obtendo-se linhas básicas (baselines), que definem os limites superior ((Tc-Ta)_{UL}) e inferior ((Tc-Ta)_{LL}) dessa relação (IDSO, 1982).

JALALI-FARAHANI et al. (1993) observaram que o limite inferior ((Tc-Ta)_{LL}) para o cálculo do CWSI em gramínea bem irrigada não é somente função do DPV, mas também do saldo de radiação e o limite superior ((Tc-Ta)_{UL}) tem uma forte correlação com o saldo de radiação.

Segundo Aston & Van Bavel (1972) citados por CLAWSON & BLAD (1982), o início do estresse hídrico em plantas pode ser detectado por comparação da temperatura do dossel da parcela estressada com a temperatura do dossel da parcela irrigada. Por outro lado, teorizam que uma parcela deve servir como sua própria temperatura de referência. A variabilidade inerente às propriedades do solo e a distribuição da chuva ou irrigação conduz a uma variação no conteúdo de água no solo. Devido a desuniformidade, sugerem que a variabilidade na temperatura do dossel, medida em vários locais dentro da mesma parcela, pode indicar o início do estresse. CLAWSON & BLAD (1982) desenvolveram um modelo para indicar a irrigação, baseado na variabilidade de temperatura do dossel, ou seja, a diferença das temperaturas máxima e mínima, de todas as temperaturas do dossel medidas dentro da mesma parcela, durante um período particular de medida.

Segundo SLACK & SILVA (1998) este método apresenta vantagem significativa sobre os demais métodos para monitoramento da irrigação, visto que compara as condições meteorológicas dentro de uma mesma parcela, não sendo por isso grandemente afetada pela velocidade do vento, radiação e temperatura do ar, desde que estas variáveis se mantenham relativamente constantes durante o período de medição. Gardner & Blad (1980) citados por CLAWSON & BLAD (1982) relatam um desvio padrão da temperatura do dossel ao meio dia, de cerca de $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$

em parcelas de milho completamente irrigadas. Em parcelas não irrigadas, o desvio foi de $\pm 4,2^{\circ}\text{C}$, concluindo que, parcelas que exibirem desvio padrão acima de $0,3^{\circ}\text{C}$, necessitam de irrigação.

O objetivo do trabalho foi comparar três modelos de determinação do estresse hídrico, para a cultura da nectarina, baseados na temperatura do dossel vegetativo.

Material e métodos

O experimento foi conduzido, durante o mês de julho de 1998, em um pomar de nectarinas (*Prunus persica*) cultivar Silver King, plantado em 1996, com espaçamento de 5 x 2m, localizado na margem sul do rio Tagus, a 40km de Lisboa (Latitude: 38° 42'N, Longitude: 8° 48'E e Altitude próxima ao nível do mar).

O sistema de irrigação utilizado foi gotejamento diário, contendo um emissor por metro (2000 emissores/ha) e fluxo de 3,5 litros/hora em cada emissor.

Os tratamentos experimentais foram: parcela não estressada (NE), mantida sem restrição hídrica durante todo o tratamento, e parcela estressada (E), mantida sem irrigação no período de 10 e 18 de julho.

A temperatura do dossel vegetativo, foi medida diariamente com um termômetro a infravermelho portátil - Thermopoint 80 - AGEMA (emissividade de 0,98) no horário 9h30min e 15h30min, a cada meia hora, com visadas oeste e leste, para 6 árvores, em cada parcela. As medições iniciaram em 9 de julho e continuaram até 21 de julho. No dia 28 de julho foram realizadas medições, para verificar a recuperação da cultura, após o reinício da irrigação na parcela estressada.

A pressão de vapor foi determinada através de equações psicrométricas utilizando temperaturas determinadas em termômetro de bulbo úmido e seco, de um psicrômetro ventilado mantido cerca de 3,5m acima do solo. O saldo radiômetro foi instalado a 6m de altura, na parcela irrigada. O psicrômetro, o anemômetro e o saldo radiômetro foram conectados a um datalogger (CAMPBELL Sci) tomando-se dados médios, a cada 30 minutos.

Para obtenção do saldo de radiação na parcela estressada (Q_e^*) os valores de saldo de radiação (Q^*) da parcela irrigada foram ajustados usando a seguinte expressão:

$$Q_e^* = Q^* - \epsilon \cdot \sigma \cdot [(T_{c_E})^4 - (T_{c_{NE}})^4] \quad (1)$$

onde ε é a emissividade da cobertura vegetal (0,98), σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$), (T_{c_E}) e $(T_{c_{NE}})$ as temperaturas absolutas do dossel da parcela estressada e não estressada, respectivamente (médias de 30 minutos).

Foram utilizados três modelos: Índice de Estresse Hídrico da Cultura (Crop Water Stress Index - CWSI), CWSI modificado e Variabilidade da Temperatura do Dossel (CTV).

O CWSI proposto por IDSO et al. (1981), baseia-se na obtenção de linhas básicas que definem o limite superior e inferior de $T_c - T_a$ através da correlação desta diferença com o DPV, usando-se dados da parcela não estressada.

A partir da obtenção das linhas básicas, calcula-se o CWSI através da expressão:

$$CWSI = \frac{[(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{LL}]}{[(T_c - T_a)_{UL} - (T_c - T_a)_{LL}]} \quad (2)$$

onde, $(T_c - T_a)_{LL}$ representa o limite inferior (linha básica para cultura não estressada), dada pela expressão:

$$(T_c - T_a)_{LL} = a + b(VPD) \quad (3)$$

e $(T_c - T_a)_{UL}$ o limite superior (cultura não transpirando). IDSO et al. (1981) mostraram que $(T_c - T_a)_{UL}$ não depende de DPV e propuseram o seguinte método para estimativa de $T_c - T_a$ para culturas “não transpirando”.

$$(T_c - T_a)_{UL} = a + b(VPG) \quad (4)$$

onde a e b são os parâmetros determinados na equação (3) e VPG a diferença entre a pressão de saturação do vapor, avaliada à temperatura do ar (T_a) e aquela avaliada à temperatura $(T_a + a)$, onde a é novamente o parâmetro da regressão definido na expressão (3). Então, o limite superior de $T_c - T_a$ é somente função da temperatura do ar.

O modelo CWSI modificado foi proposto por JALALI-FARAHANI et al. (1993). Estes autores, estudando o estresse hídrico em gramados, observaram a existência de uma forte correlação entre os limites superior e inferior de $T_c - T_a$ e o saldo de radiação.

Com os dados obtidos na parcela não estressada realizou-se, para os dias analisados, uma regressão linear múltipla com DPV e o saldo de radiação (Q^*) como variáveis independentes afetando $(T_c - T_a)_{LL}$. Considerando-se que o limite superior de $T_c - T_a$ não

depende do DPV (IDSO, 1982), os dados obtidos na parcela estressada foram utilizados para avaliar estatisticamente os efeitos de Q^* sobre o $(T_c - T_a)_{UL}$, para dois dias em que as plantas encontravam-se sob estresse hídrico.

A partir desses limites calcula-se o CWSI usando a expressão (2).

O método da Variabilidade da Temperatura do Dossel (Canopy Temperature Variability - CTV) proposto por CLAWSON & BLAD (1982) utiliza a variação “ $T_{máxima} - T_{mínima}$ ” de todas as temperaturas do dossel medidas pelo TIV dentro de uma parcela, durante um período específico de medida. Neste experimento foram consideradas as medidas realizadas ao meio-dia.

$$CTV = T_{c_{máx}} - T_{c_{mín}} \quad (5)$$

onde $T_{c_{máx}}$ é a temperatura máxima do dossel e $T_{c_{mín}}$ é a temperatura mínima do dossel ao meio dia.

Resultados e discussão

A Figura 1 apresenta a diferença de temperaturas ($T_c - T_a$) versus DPV. O limite inferior representa a correlação ($T_c - T_a$) versus DPV para a cultura em transpiração máxima. O limite superior representa os valores máximos de $T_c - T_a$, quando a transpiração aproxima-se de zero na parcela estressada sendo função unicamente da temperatura do ar.

Uma interceptação positiva de $T_c - T_a$ ($4,4^\circ\text{C}$) para o limite inferior na Figura 1, significa que um ambiente super saturado de vapor (DPV negativo) é necessário para bloquear a transpiração da cultura (KHERA & SANDHU, 1986).

O coeficiente de determinação (R^2) obtido na correlação entre $T_c - T_a$ e DPV foi similar àquele encontrado por GLEN et al (1989) em pessegueiro, para a relação entre $T_c - T_a$ e valores de DPV acima de 2,1 kPa ($R^2 = 0,67$). Para DPV > 2,1 kPa esses autores encontraram uma resposta curvilínea de $T_c - T_a$ em função de DPV.

Os limites superior e inferior de transpiração definidos na Figura 1 foram usados para computar os valores de CWSI, calculados pela expressão (2).

As Figuras 2 e 3 mostram respectivamente, a variação da temperatura do dossel vegetativo e do CWSI, para as parcelas não estressada e estressada.

As diferenças entre as temperaturas do dossel vegetativo, da parcela estressada e não estressada,

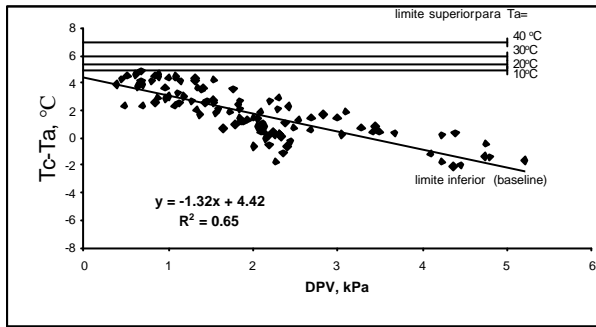


Figura 1. Correlação entre a diferença T_c-T_a e DPV para os limites superior (máximo estresse) e inferior (plantas transpirando potencialmente) para plantas de nectarina. Atalaia, Portugal em 1998.

aumentaram durante o período estival, alcançando $5,4^\circ\text{C}$ em 17/7, 2 dias antes do reinício da irrigação (19/7). O mesmo ocorreu com os valores de CWSI, tendo o máximo do estresse ocorrido em 17/7. Isto provavelmente aconteceu devido aos baixos valores de velocidade do vento e altas temperaturas do ar ($T_a = 37^\circ\text{C}$ e $u = 0,7$ m/s), quando comparados com os dias 18/7 ($T_a = 35,2^\circ\text{C}$ e $u = 1,8$ m/s) e 19/7 ($T_a = 30,1^\circ\text{C}$ e $u = 1,4$ m/s). Os valores de velocidade do vento e temperatura do ar são, provavelmente, a causa das baixas temperatura do dossel em ambas as parcelas nos dias 14/7 ($T_a = 28,6^\circ\text{C}$ e $u = 2,2$ m/s) e 21/7 ($T_a = 26^\circ\text{C}$ e $u = 2,3$ m/s).

Em teoria, o CWSI (IDSO et al., 1981) deveria progredir de 0 para plantas não estressadas, transpirando em taxa potencial até 1 para plantas severamente estressadas. Neste experimento foram encontrados valores de CWSI excedendo esses limites. A ocorrência de valores negativos e maiores que 1, têm sido encontrados em diversos outros estudos, tais

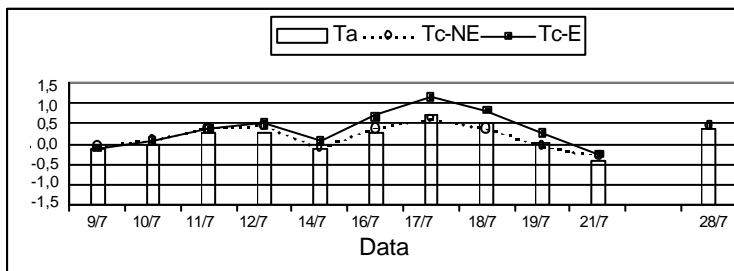


Figura 2. Variação diária das temperaturas do ar (T_a) e do dossel vegetativo na parcela não estressada ($T_c\text{-NE}$), e estressada ($T_c\text{-E}$), para plantas de nectarina. Atalaia, Portugal em 1998.

como WANJURA et al. (1984), JALALI-FARAHANI et al. (1994) e SILVA & SLACK (1997). PINTER & REGINATO (1982) mostraram que isto ocorre devido principalmente à variabilidade em torno da linha básica. Com relação aos valores de CWSI no modelo de IDSO et al. (1981), pode-se observar que na parcela não estressada, esses valores nunca excederam a 0,5, sugerindo-se para plantas de nectarina, nestas condições particulares de clima e solo, que as plantas devem ser irrigadas quando o CWSI atingir 0,5. Ao se observar os valores da parcela estressada, nota-se que até dia 14/7 os valores de CWSI se mantiveram inferiores a 0,5.

Ao se calcular a regressão linear múltipla entre $(T_c-T_a)_{LL}$, DPV e Q^* , prevista no modelo CWSI modificado, obteve-se o seguinte resultado:

$$(T_c-T_a)_{LL} = 6,742 - 0,8087\text{DPV} - 0,0059Q^*$$

$$R^2 = 0,64$$

Observa-se que o coeficiente de determinação foi o mesmo tanto para o modelo CWSI, onde a regressão foi calculada somente entre $(T_c-T_a)_{LL}$ e DPV ($R^2=0,65$) quanto para o modelo CWSI modificado onde a regressão foi calculada entre $(T_c-T_a)_{LL}$, Q^* e DPV ($R^2=0,64$). Isto é, o saldo de radiação, juntamente com o DPV não explicaram melhor a variação de $(T_c-T_a)_{LL}$ do que unicamente o DPV. JALALI-FARAHANI et al. (1993) observaram que acrescentando o saldo de radiação no cálculo, houve uma melhora no índice da regressão explicando 90% da variação de $(T_c-T_a)_{LL}$ enquanto, para o caso de $(T_c-T_a)_{LL}$ e DPV, o valor foi de 76%. A regressão linear entre $(T_c-T_a)_{UL}$ e Q^* obtida para parcela estressada, foi:

$$(T_c-T_a)_{UL} = 12,153 - 0,0145Q^* \quad R^2 = 0,70$$

Foi encontrada boa correlação ($R^2 = 0,70$) entre Q^*_e e $(T_c-T_a)_{UL}$, indicando que o saldo de radiação afeta consideravelmente $(T_c-T_a)_{UL}$ em plantas de nectarinas, em condições de estresse hídrico.

A Figura 4 apresenta os limites superior e inferior de T_c-T_a em função de DPV para uma gama de valores de saldo de radiação, encontrados para o modelo CWSI modificado.

Pode-se observar que os limites de T_c-T_a foram função do saldo de radiação, indicando uma maior dependência do limite superior (0,0145) que do limite inferior (0,0059).

Os limites superior e inferior, definidos pelas equações acima, foram usa-

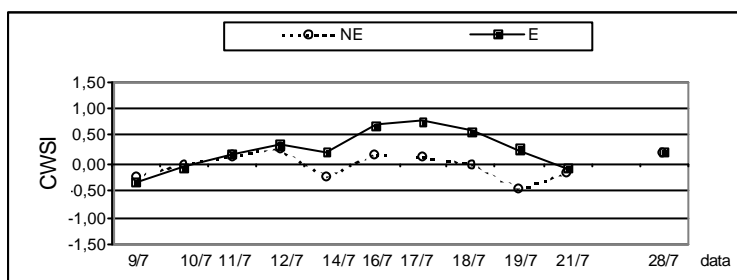


Figura 3. Variação diária do CWSI na parcela não estressada (NE) e na parcela estressada (E), para plantas de nectarina. Atalaia, Portugal, em 1998.

dos para computar os valores de CWSI, calculados pela expressão (2), e são apresentados na Figura 5.

Observa-se que os valores de CWSI do modelo CWSI modificado comportaram-se de maneira similar aos do modelo CWSI, com valores na parcela não estressada não excedendo 0,5, o que permite manter esse limite como um indicativo para a irrigação. A diferença entre os dois modelos, é que no modelo CWSI modificado, o valor da parcela estressada, passa a ser 0,57 no dia 14/7.

A Figura 6 mostra, a variação diária do CTV, para as parcelas não estressada e estressada.

Os dados obtidos apresentaram-se variáveis, sendo que em alguns dias o CTV da parcela não estressada foi maior que o da parcela estressada. Ape-

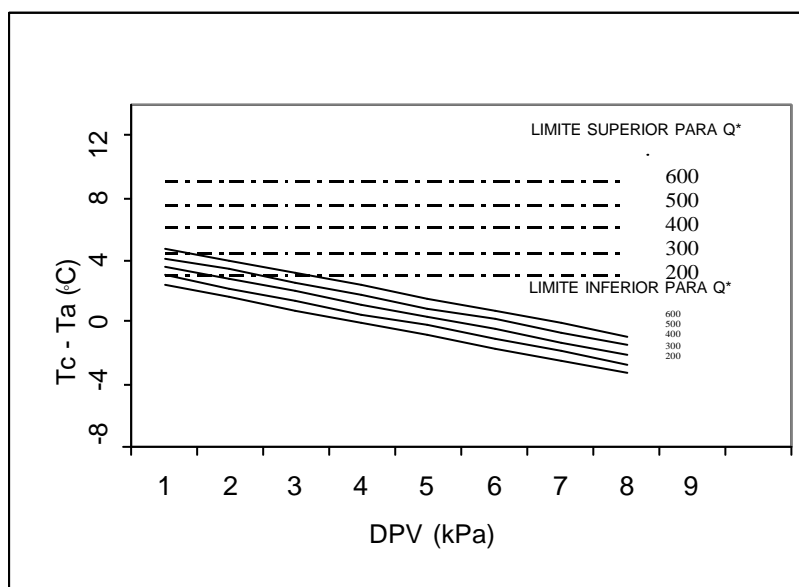


Figura 4. Correlação entre a diferença $T_c - T_a$, DPV e Q^* , para os limites superior (máximo estresse) e inferior (plantas transpirando potencialmente), para plantas de nectarina. Atalaia, Portugal em 1998.

sar disso, a variação diária dos dados foi semelhante aos dos modelos anteriores.

O valor máximo de CTV, ao meio dia, na parcela não estressada, foi de 1,7 (dia 28/8). Isso indica que, valores menores que 1,7 podem ser esperados para plantas de nectarina, bem irrigadas, em dias claros. Portanto, valores acima desse, indicam o início do estresse hídrico, e portanto o momento da irrigação.

Pela Figura 6 pode-se ainda observar, que a parcela estressada apresentou valores de CTV menores que 1,7 até dia 14/7, coincidindo com a data de início de estresse indicado pelo CWSI de IDSO et al. (1981).

Este método indica que o dia em que ocorreu o máximo estresse foi 16/7 (maior CTV na parcela estressada, 2,6), o que não coincide com aquele indicado pelos métodos anteriores (17/7). Porém, segundo CLAWSON & BLAD (1982) a CTV pode ser usada para assinalar o início do estresse hídrico, mas sua severidade é provavelmente, melhor indicada pela magnitude da elevação na temperatura média do dossel vegetativo acima da parcela bem irrigada. A maior diferença entre os CTVs da parcela irrigada e da parcela estressada, ocorreu no dia 17/7 (Figura 6).

Conclusões

Os três modelos apresentam resultados semelhantes no que se refere ao estresse hídrico em cultura de nectarina.

O modelo CWSI modificado mostra que a temperatura máxima do dossel vegetativo na ausência de transpiração (máximo estresse), está relacionada com o saldo de radiação não sendo simplesmente função da temperatura do ar, como proposto pelo modelo CWSI e que o limite superior de $T_c - T_a$ tem maior dependência do saldo de radiação do que o limite inferior, indicando que o modelo CWSI modificado é o mais adequado para a determinação do início do estresse hídrico e conseqüentemente para o monitoramento da irrigação, nas condições estudadas.

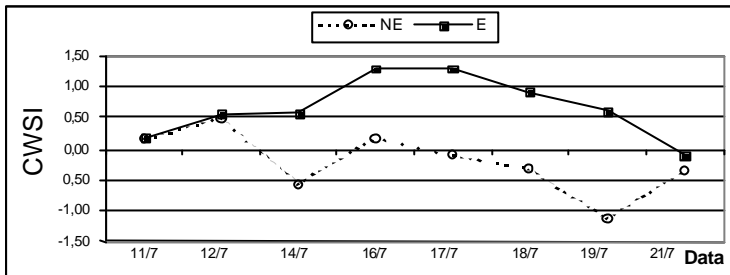


Figura 5. Variação diária do CWSI (modelo CWSI modificado) na parcela não estressada (NE) e na parcela estressada (E), para plantas de nectarina. Atalaia, Portugal em 1998.

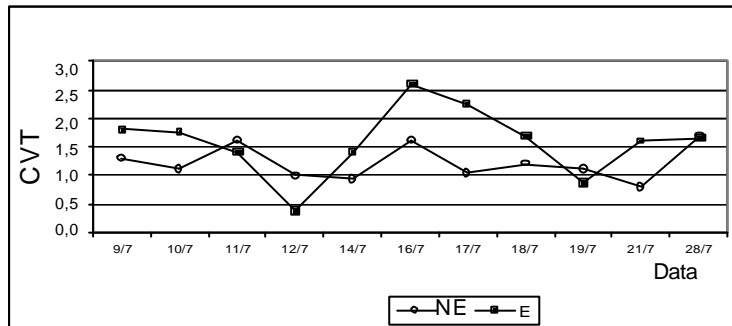


Figura 6. Variação diária do CTV na parcela não estressada (NE) e na parcela estressada (E), para plantas de nectarina. Atalaia, Portugal em 1998.

Referências bibliográficas

- CLAWSON, K.L., BLAD, B.L. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. *Agronomy Journal*, Madison, v. 74, p. 311-316, 1982.
- GLEN, D.M., WORTHINGTON, J.W., WELKER, W.V., et al. Estimation of peach tree water use using infrared thermometry. *J.Amer.Soc.Hort.Sci.*, v. 114, n. 5, p. 737-741, 1989.
- IDSO, S.B. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v. 27, p. 59-70, 1982.
- CLAWSON, K.L., ANDERSON, M.G. Foliage temperature: effects of environmental factors with implications for plant water stress assessment and the CO₂/climate connection. *Water Resources Research*, Washington, v. 22, n. 12, p. 1702-1716, 1986.
- IDSO, S.B., JACKSON, R.D., PINTER JR., P.J., et al. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v. 24, p. 45-55, 1981.
- JALALI-FARAHANI, H.R., SLACK, D.C., KOPEC, D.M., et al. Crop water stress index models for bermudagrass turf: a comparison. *Agronomy Journal*, Madison, v. 85, n. 6, p. 1210-1217, 1993.
- JALALI-FARAHANI, H.R., SLACK, D.C., KOPEC, D.M., et al. Evaluation of resistances for bermudagrass turf crop water stress index models. *Agronomy Journal*, Madison, v. 86, n. 3, p. 574-581, 1994.
- KHERA, K.L., SANDHU, B.S. Canopy temperature on sugarcane as influenced by irrigation regime. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 37, p. 245-258, 1986.
- PINTER JR., P.J., REGINATO, R.J. A thermal infrared technique for monitoring cotton water stress and scheduling irrigations. *Trans. of ASAE*, St. Joseph, v. 25, p. 1651-1655, 1982.
- SILVA, B.B. SLACK, D.C. Diurnal and Seasonal variation of the CWSI with cotton in Northeast of Brazil. In: International Meeting of the ASAE, 1997. Minneapolis, *Annual...*, ASAE: Minneapolis, 1997. (Paper n.922179).
- SLACK, D.C., SILVA, B.B. Infrared thermometry for assessing plant water stress. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2, 1998, Goiânia, GO. *Anais...*, Goiânia: Sociedade Brasileira de Biometeorologia/ Universidade Federal de Goiás, 1998. 389 p. p. 52-62.
- WANJURA, D.F., KELLY, C.A., WENDT, C.W., et al. Canopy temperature and water stress of cotton crops with complete and partial ground cover. *Irrigation Science*, Heidelberg, v. 5, p. 37-46, 1984.

