

# Influência da temperatura e do teor de humidade do solo na área foliar e acumulação de matéria seca durante o estabelecimento da ervilha, do milho e do girassol

## Influence of temperature and soil moisture on leaf area and dry matter accumulation during establishment of pea, maize and sunflower

J. A. Andrade<sup>1</sup> & F. G. Abreu<sup>2</sup>

### RESUMO

O crescimento foliar e a acumulação de matéria seca durante o estabelecimento da ervilha (*Pisum sativum* L., var. Ballet), do milho (*Zea mays* L., var. Lorena) e do girassol (*Helianthus annuus* L., var. Florasol) foram estudados em função da temperatura e do teor de água num solo Pmg (Évora) e num Cb (Lisboa), entre Junho de 1995 e Novembro de 1996. Mediu-se a temperatura do solo a 2 e 4 cm de profundidade, a temperatura do ar e a humidade do solo. A área foliar das plântulas foi estimada a partir de medições do comprimento e da largura de cada folha. A acumulação de matéria seca foi avaliada pela pesagem da parte aérea das plântulas após secagem em estufa. Os dados foram analisados com base no conceito de *tempo térmico*.

Para teores de humidade superiores a 50% da capacidade utilizável de cada solo, a área foliar durante o estabelecimento da ervilha e do milho aumentou linearmente com a temperatura acumulada, enquanto

que a do girassol aumentou exponencialmente durante o mesmo período. A relação entre a acumulação de matéria seca de qualquer das culturas e a temperatura acumulada foi exponencial. O tipo de solo influenciou significativamente o “início da expansão foliar” da ervilha e do girassol, a “taxa térmica de expansão foliar” do milho e a acumulação de matéria seca da ervilha e do milho. O “início da expansão foliar” da ervilha ocorreu mais cedo no solo Cb enquanto que o do girassol ocorreu mais cedo no solo Pmg. A expansão foliar do milho foi mais rápida no solo Pmg. A acumulação de matéria seca da ervilha foi mais rápida no solo Cb, enquanto que a do girassol foi mais rápida no solo Pmg. Em ambos os solos, baixos teores de humidade afectaram negativamente a expansão da área foliar e a acumulação de matéria seca.

### ABSTRACT

Leaf area expansion and accumulation of dry matter during the establishment of pea

<sup>1</sup> Departamento de Geociências, Universidade de Évora- Colégio Luís António Verney, Rua Romão Ramalho nº59, 7000-671 Évora, Portugal, Tel 266745300, Fax 26674539, e-mail: zalex@uevora.pt

<sup>2</sup> Departamento de Ciências do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal. e-mail: fgabreu@isa.utl.pt

(*Pisum sativum* L., var. Ballet), maize (*Zea mays* L., var. Lorena) and sunflower (*Helianthus annuus* L., var. Florasol) were studied at different temperatures and soil moisture contents in a Vertisol (Lisboa) and a Luvisol (Évora) from June 1995 to November 1996. Measurements were made of soil temperature at 2 and 4 cm depth, air temperature and soil water content. Leaf area per plant was estimated from measurements of the length and width of each leaf. Above ground seedling dry matter was weighed after oven drying. Data analysis was based on the *thermal time* concept.

For water contents above 50% of the available capacity of each soil, leaf area of pea and maize increased linearly with accumulated temperature while that of sunflower increased exponentially. Dry matter of all crops increased exponentially with accumulated temperature. Significant differences between the two types of soil were found on the “initiation of leaf area expansion” of pea and sunflower, on the “thermal-rate for leaf area expansion” of maize and on the dry matter accumulation of pea and maize seedlings. The “initiation of leaf expansion” of pea occurred earlier in soil Cb while that of sunflower occurred earlier in soil Pmg. Leaf area expansion of maize was faster in soil Pmg. Dry matter accumulation of pea was faster in soil Cb while that of sunflower was faster in soil Pmg. In both soils, low soil water contents reduced leaf area expansion and dry matter accumulation of the crops.

## INTRODUÇÃO

Durante a fase de estabelecimento, as plântulas requerem taxas elevadas de expansão da área foliar, de desenvolvimento radical e de acumulação de matéria seca

para que se tornem rapidamente independentes das reservas limitadas contidas nas sementes (Abreu, 1987). O sucesso do estabelecimento de uma cultura determina em larga escala a sua produtividade final e é, em grande medida, controlado pela temperatura e pela humidade do solo (Abreu, 1987).

Nas regiões de clima mediterrâneo, como é o caso de Portugal, as variações da temperatura do solo são consideráveis e as mudanças do teor de água no solo são rápidas devido à irregularidade da precipitação e à evapotranspiração potencial geralmente elevada. No âmbito das alterações climáticas globais prevê-se que estas características se acentuem, nomeadamente através de uma maior frequência de secas e de um ligeiro aumento da temperatura (Santos, 2000). Esta tendência exige um conhecimento detalhado das gamas térmicas e hídricas adequadas a cada estágio de desenvolvimento das culturas, especificamente durante o estabelecimento.

A influência da temperatura e da humidade do solo no desenvolvimento inicial de várias culturas tem sido demonstrada em estudos sobre a germinação (Garcia-Huidobro *et al.*, 1982; Mohamed *et al.*, 1988), a emergência (Kanemasu *et al.*, 1975; Ong, 1983; Webb *et al.*, 1987), a produção de folhas (Leong & Ong, 1983; Cao & Moss, 1989; Craufurd *et al.*, 1996), a expansão foliar (Abreu, 1987; Bollero *et al.*, 1996) e a acumulação de matéria seca (Squire, 1989; Goudriaan & Monteith, 1990). Contudo, os trabalhos relativos ao efeito da temperatura e da água especificamente no estabelecimento das culturas são poucos e têm sido conduzidos em ambiente controlado, escasseando os realizados em pleno campo.

Neste trabalho foram estudadas em pleno campo a expansão da área foliar e a acumulação de matéria seca durante o estabe-

lecimento da ervilha, do milho e do girassol em função da temperatura e do teor de água num Solo Mediterrâneo Pardo (Pmg) em Évora e num Solo Barro Castanho-Avermelhado (Cb) em Lisboa. O conceito de tempo térmico de Monteith (1977) foi utilizado na análise dos resultados por permitir separar os efeitos da temperatura dos da água (Abreu & Clark, 1993).

## MATERIAIS E MÉTODOS

As experiências decorreram no Monte dos Álamos, Évora (38°30'N, 7°45'W) e na Tapada da Ajuda, Lisboa (38°42'N, 9°11'W). Évora e Lisboa possuem um clima mediterrâneo do tipo *Csa* (temperado húmido de verões quentes, longos e secos), segundo a classificação climática de Köppen. De acordo com Andrade (2001), no Monte dos Álamos o solo Pmg apresenta textura franco-arenosa e uma massa volúmica aparente de  $1,48 \text{ Mg m}^{-3}$  no horizonte superficial (Ap1, com 20 cm de espessura); na Tapada da Ajuda, o solo Cb apresenta textura franco-argilosa e uma massa volúmica aparente de  $1,22 \text{ Mg m}^{-3}$  no horizonte superficial (Ap1, com 15 cm de espessura). As percentagens de elementos grosseiros presentes nos horizontes Ap1 são de  $15,6 \pm 0,90 \%$  no solo Pmg e de  $8,7 \pm 2,51 \%$  no solo Cb. Os teores volúmicos de água equivalentes a 33 kPa de sucção são de  $0,23 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  no solo Pmg e de  $0,42 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  no solo Cb; os correspondentes teores a 1,5 MPa de sucção são de  $0,10 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  no solo Pmg e de  $0,28 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  no solo Cb.

As sementes, provenientes da Herdade Experimental da Mitra (Universidade de Évora), foram colocadas a 2-3 cm de profundidade. A densidade de sementeira da ervilha foi de 80 sementes por metro quadrado e a do milho e do girassol foram de 20 sementes por metro quadrado. As linhas

de sementeira da ervilha distaram entre si 20 cm e as do milho e do girassol 40 cm. Em cada sementeira foram semeados  $4 \text{ m}^2$  de ervilha e  $10 \text{ m}^2$  de milho e de girassol. Foram realizadas 13 sementeiras de ervilha (7 no solo Pmg e 6 no solo Cb), 12 sementeiras de milho (5 no solo Pmg e 7 no solo Cb) e 15 de girassol (5 no solo Pmg e 10 no solo Cb) entre Junho de 1995 e Novembro de 1996, de forma a obter diferentes temperaturas médias e teores de água no solo.

A temperatura do solo foi medida por termopares tipo-T colocados a 2 e a 4 cm de profundidade e a temperatura do ar foi medida com um psicrómetro ventilado. Os sensores foram ligados a um acumulador de dados (CR 10 da *Campbell Scientific, Inc.*) programado para registar os valores médios horários e diários das temperaturas do solo e do ar. O teor de humidade do solo nos 10 cm superficiais foi medido de 2 em 2 dias pelo método gravimétrico e foi expresso como percentagem da capacidade utilizável (c.u.) do solo.

A área foliar e a matéria seca por planta foram amostradas, respectivamente, de 3 em 3 dias e de 6 em 6 dias, a partir do dia em que 50% das plantas apresentaram folhas (ou folíolos) completamente abertas. A área foliar foi estimada a partir da medição não destrutiva do comprimento e da largura máxima de cada folha em 10 plantas previamente seleccionadas, utilizando rectas de regressão conhecidas (Andrade, 2001). A matéria seca foi avaliada pela pesagem, com uma balança electrónica de precisão, da parte aérea de 10 plântulas colhidas para o efeito, após secagem em estufa a 65°C até peso constante. As observações terminaram quando metade das plantas apresentaram cinco folhas completamente abertas no caso da ervilha e do milho e 3 pares de folhas no caso do girassol, altura em que se considerou o estabelecimento concluído. Algumas experiên-

cias foram terminadas antes dessa fase por não se observar qualquer progressão temporal da área foliar.

O conceito de tempo térmico (Monteith, 1977) foi utilizado para analisar a expansão de área foliar e a acumulação de matéria seca ao longo do estabelecimento das três culturas. A temperatura medida na vizinhança imediata do meristema apical foi acumulada ( $\theta$ , °Cd) a partir de cada sementeira de acordo com a seguinte equação:

$$\theta = t(T - T_b), \quad (1)$$

onde  $T$  (°C) é a temperatura média diária medida durante o tempo  $t$  (d) na vizinhança do meristema apical e  $T_b$  (°C) é a temperatura base estimada para a produção de folhas em cada cultura, que foi de 2,1°C para a ervilha, de 7,2°C para o girassol e de 6,5°C para o milho (Andrade, 2001). Como durante o estabelecimento do milho o meristema apical se encontra abaixo da superfície do solo, considerou-se como representativa para acumulação a temperatura média diária medida a 2 cm de profundidade. Nos casos da ervilha e do girassol, devido à evolução da posição do meristema apical, considerou-se a temperatura medida a 2 cm de profundidade até à emergência e a temperatura do ar no período pós-emergência.

Para comparar modelos de regressão, designadamente para avaliar o significado estatístico das diferenças entre duas regressões simples, foi utilizada a Regressão Múltipla (Draper & Smith, 1981).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Expansão foliar

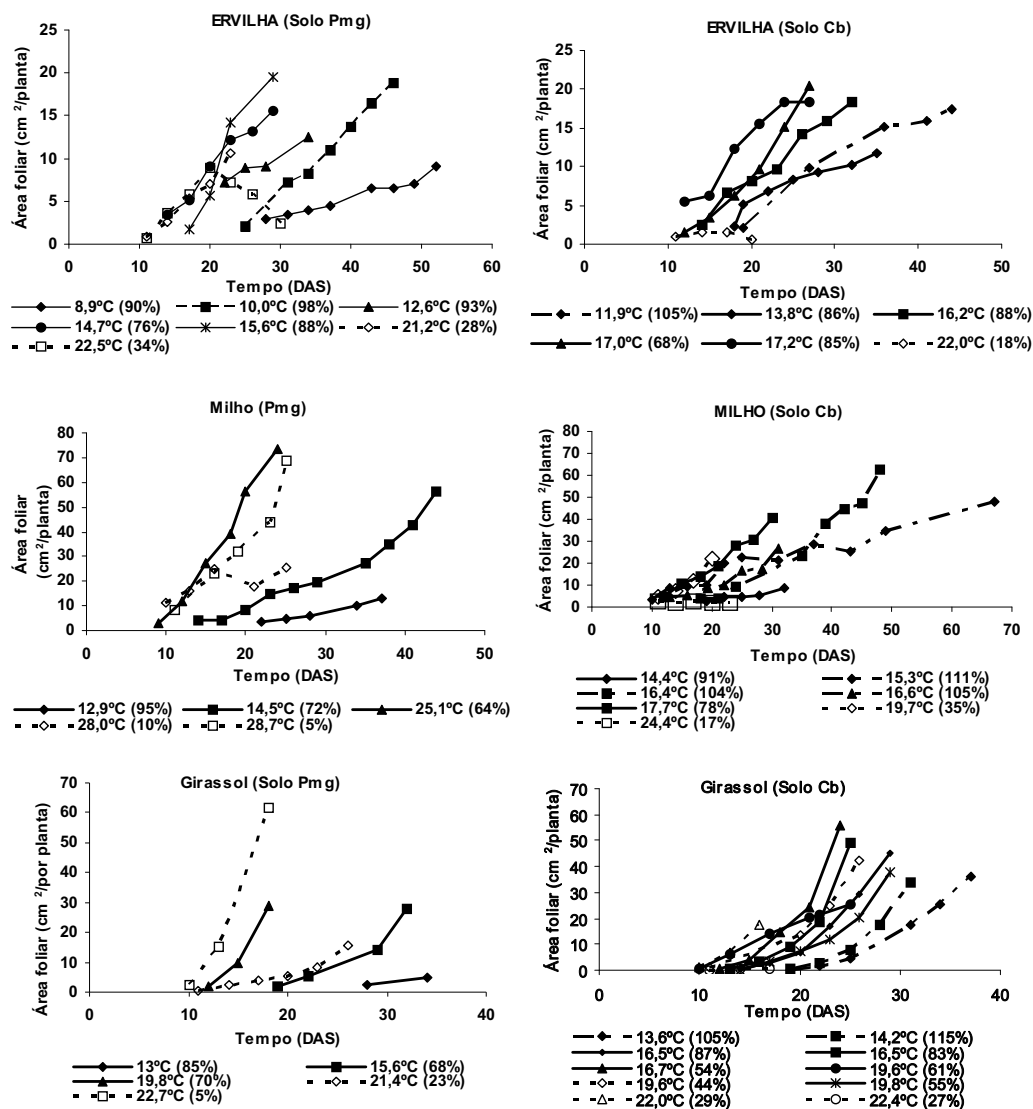
A Figura 1 apresenta a evolução temporal da área foliar por planta ao longo do

estabelecimento da ervilha, do milho e do girassol, para diferentes temperaturas médias e diferentes teores médios de humidade do solo calculados a partir da sementeira, nos solos Pmg e Cb. Em ambos os solos, a expansão da área foliar de qualquer das três culturas foi geralmente mais rápida a temperaturas mais elevadas e mais lenta a temperaturas mais baixas, o que está de acordo com a influência da temperatura nas taxas de expansão foliar (Mohamed *et al.*, 1988). A expansão da área foliar ao longo do tempo parece ser tendencialmente linear no caso da ervilha e do milho e exponencial no caso do girassol. Esta tendência verificou-se no solo Pmg para temperaturas médias entre cerca de 9°C e 21°C no caso da ervilha, entre cerca de 13°C e 29°C no do milho e entre cerca de 16°C e 23°C no do girassol; no solo Cb verificou-se para temperaturas entre 12°C e 17°C no caso da ervilha, entre 14°C e 20°C no do milho e entre 14°C e 22°C no do girassol. A forma como a área foliar progride durante o desenvolvimento inicial das culturas parece ser dependente da espécie. Expansões lineares da área foliar durante o estabelecimento estão referidas para o algodão (Nelson, 1967) e a colza (Marshall & Squire, 1992), enquanto que as áreas foliares do amendoim (Abreu, 1987), do milho painço (Mohamed *et al.*, 1988) e da fava e sorgo (Goudriaan & Monteith, 1990) parecem expandir-se exponencialmente.

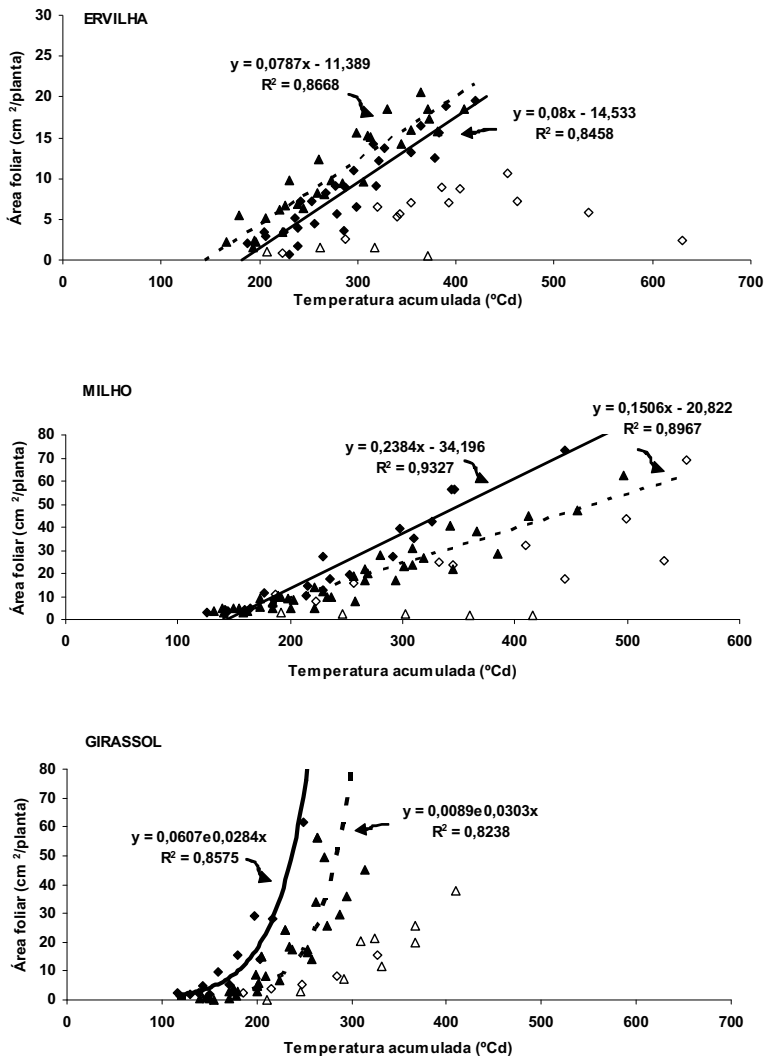
A temperaturas médias elevadas durante o estabelecimento, a expansão da área foliar parece ser mais lenta do que seria de esperar se a taxa de expansão aumentasse com o aumento de temperatura. É o caso, por exemplo, da ervilha a 21°C e 22°C e do milho a 28°C e 29°C no solo Pmg. Estas temperaturas médias elevadas estão associadas a teores baixos de humidade do solo, inferiores a 50% da c.u., pelo que a falta de água no solo pode estar

a limitar a acção da temperatura na expansão da área foliar. Por outro lado, teores de água no solo superiores à capacidade de campo não parecem limitar a

expansão foliar, pelo menos no solo Cb, como é o caso da ervilha a 11,9°C, do milho a 15°C e 16°C e do girassol a 13-14°C.



**Figura 1** - Evolução temporal da área foliar por planta na fase de estabelecimento da ervilha, do milho e do girassol nos solos Pmg e Cb, para diferentes temperaturas médias (°C) e diferentes teores médios de humidade do solo (% da capacidade utilizável). (DAS são dias após a sementeira)



**Figura 2** - Evolução da área foliar por planta da ervilha, do milho e do girassol em função da temperatura acumulada nos solos Pmg (—) e Cb (---), em condições de humidade do solo ( $\Theta$ ) superiores e inferiores a 50% da capacidade utilizável:  $\blacklozenge$  Solo Pmg ( $\Theta > 50\%$ ),  $\diamond$  Solo Pmg ( $\Theta < 50\%$ ),  $\blacktriangle$  Solo Cb ( $\Theta > 50\%$ ),  $\triangle$  Solo Cb ( $\Theta < 50\%$ )

Para separar a acção da água da da temperatura na expansão foliar, a Figura 2 apresenta a evolução da área foliar por planta em função da temperatura acumulada. Esta análise permite retirar o efeito de diferenças de

temperatura nas taxas de expansão foliar, deixando realçar os efeitos de diferentes teores de água no solo. Na Figura 2 distinguem-se as experiências que decorreram a teores médios de água no solo superiores a

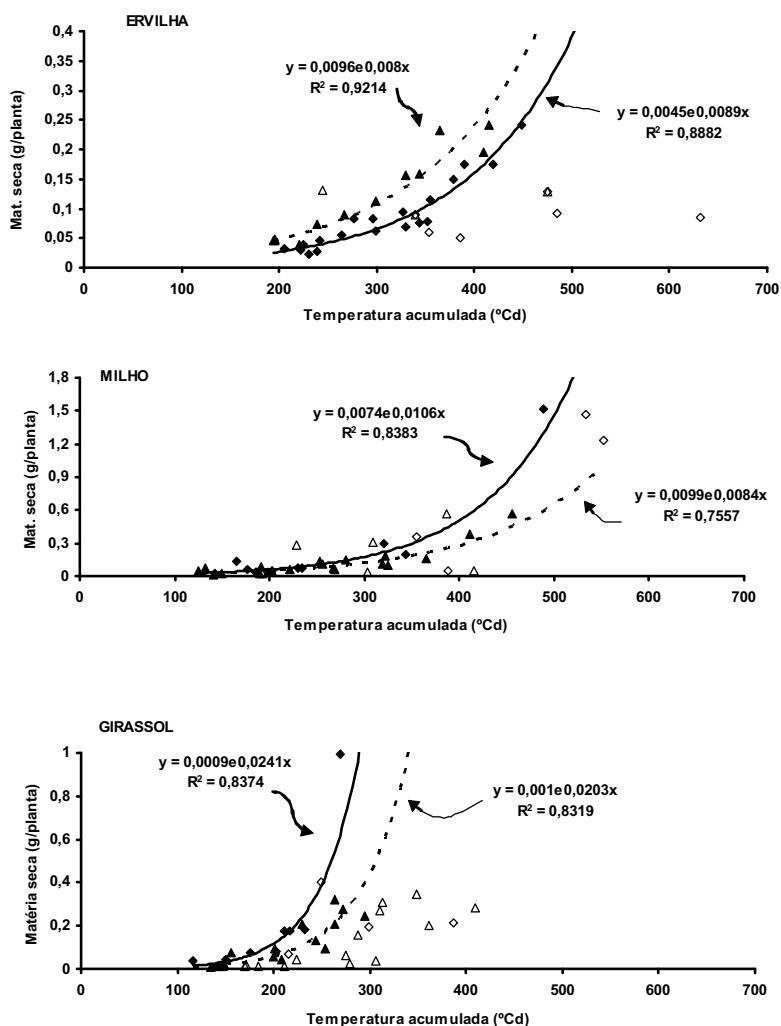
50% da c.u. daquelas que decorreram em solo mais seco. A expansão foliar das três culturas em função da temperatura acumulada é em solo húmido diferente da verificada em solo seco, indicando que teores de humidade do solo inferiores a 50% da c.u. afectam a expansão foliar durante o estabelecimento, tanto no solo Cb como no Pmg.

Sob condições hídricas favoráveis em ambos os solos, a Figura 2 mostra que as áreas foliares durante o estabelecimento da ervilha e do milho aumentaram linearmente com a temperatura acumulada, sendo as regressões lineares significativas (\* $P < 0,05$ ). Pode então definir-se o tempo térmico (em °Cd) necessário (desde a sementeira) para o “início da expansão foliar” como a intercepção de cada regressão com o eixo das temperaturas acumuladas e a “taxa térmica de expansão foliar” ( $\text{cm}^2/\text{°Cd}$ ) como o declive da regressão respectiva. Por outro lado, uma função do tipo exponencial descreve melhor (\* $P < 0,05$ ) a progressão da área foliar do girassol em função da temperatura acumulada (Figura 2). Neste caso, a intercepção com o eixo das abcissas da relação linear entre o logaritmo da área foliar e a temperatura acumulada representa o tempo térmico necessário (desde a sementeira) ao “início da expansão foliar” (de facto, é o tempo térmico necessário para a produção de uma área foliar igual a  $1 \text{ cm}^2$ ) e o respectivo declive é a “taxa térmica relativa de expansão foliar” [ $(\text{°Cd})^{-1}$ ] (Abreu, 1987). No solo Pmg, os tempos térmicos necessários ao “início da expansão foliar” da ervilha, do milho e do girassol foram, respectivamente, de  $182^\circ\text{Cd}$ ,  $138^\circ\text{Cd}$  e  $99^\circ\text{Cd}$  enquanto que no solo Cb foram de  $145^\circ\text{Cd}$  no caso da ervilha,  $143^\circ\text{Cd}$  no do milho e  $156^\circ\text{Cd}$  no do girassol. A “taxa térmica de expansão foliar” do milho foi de cerca de  $0,24 \text{ cm}^2/\text{°Cd}$  no solo Pmg e de  $0,15 \text{ cm}^2/\text{°Cd}$  no solo Cb, enquanto que a da ervilha foi de  $0,08 \text{ cm}^2/\text{°Cd}$  em ambos os solos; a “taxa térmica

relativa de expansão foliar” do girassol foi de  $0,03 (\text{°Cd})^{-1}$ , também em ambos os solos.

O tipo de solo influenciou significativamente (\* $P < 0,05$ ) o crescimento foliar das três culturas: a expansão foliar da ervilha iniciou-se mais cedo no solo Cb e a do girassol no solo Pmg, enquanto que a expansão foliar do milho progrediu mais rapidamente no solo Pmg do que no Cb. No entanto, o tipo de solo não afectou significativamente (\* $P < 0,05$ ) o “início da expansão foliar” do milho nem as “taxas térmicas de expansão foliar” da ervilha e do girassol. A influência do tipo de solo em diferentes fases ou processos de desenvolvimento durante o estabelecimento das culturas parece depender da fase ou processo considerado. Por exemplo, a Figura 2 mostra, nomeadamente para o caso do milho, que a temperatura acumulada necessária para se concluir o estabelecimento foi diferente nos dois tipos de solo, o que implica que o ritmo de produção de folhas também tenha sido diferente. Além disso, a emergência de qualquer das três culturas foi significativamente mais rápida no solo Cb do que no solo Pmg (Andrade, 2001). Em estudos futuros sobre o estabelecimento deverão ser tomados em conta outros factores para além do regime térmico e do regime hídrico do solo, tais como o contacto solo-semente na fase de germinação (Bewley & Black, 1994), a resistência mecânica ao alongamento da radícula e do caulículo no período pré-emergência (Bresson, 1995), a temperatura do solo na zona radical após a emergência (Richards *et al.*, 1952; Beauchamp & Lathwell, 1967) e a disponibilidade de nutrientes no solo (Mohotti & Lawlor, 2002).

Sob condições hídricas favoráveis, o tipo de solo não influenciou significativamente (\* $P < 0,05$ ) a área foliar no final do estabelecimento, provavelmente porque a temperatura acumulada até ao estabelecimento



**Figura 3** - Evolução da matéria seca por planta da ervilha, do milho e do girassol em função da temperatura acumulada nos solos Pmg (—) e Cb (---), em condições de humidade do solo ( $\Theta$ ) superiores e inferiores a 50% da capacidade utilizável:  $\blacklozenge$  Solo Pmg ( $\Theta > 50\%$ ),  $\diamond$  Solo Pmg ( $\Theta < 50\%$ ),  $\blacktriangle$  Solo Cb ( $\Theta > 50\%$ ),  $\triangle$  Solo Cb ( $\Theta < 50\%$ )

não foi igual nos dois tipos de solo. A área foliar média por planta de ervilha variou entre  $16,6 \pm 3,21 \text{ cm}^2$  no solo Pmg e  $16,9 \pm 3,40 \text{ cm}^2$  no solo Cb, a do milho variou

entre  $66,2 \pm 8,80 \text{ cm}^2$  no solo Pmg e  $47,6 \pm 16,5 \text{ cm}^2$  no solo Cb e a do girassol variou entre  $39,5 \pm 19,11 \text{ cm}^2$  no solo Pmg e  $41,0 \pm 11,21 \text{ cm}^2$  no solo Cb.



### Acumulação de matéria seca

A acumulação de matéria seca é a medida última do desempenho de uma planta e depende fundamentalmente da área foliar, da radiação solar disponível, da eficiência do uso da radiação e da disponibilidade de água e nutrientes no solo (Abreu, 1987; Mohotti & Lawlor, 2002; Eitzinger *et al.*, 2004). A acumulação de matéria seca por planta foi analisada em função da temperatura acumulada, distinguindo as experiências que decorreram a teores médios de humidade do solo superiores e inferiores a 50% da c.u. (Figura 3). Para teores de humidade do solo superiores a 50% da c.u. a acumulação de matéria seca durante o estabelecimento da ervilha, do milho e do girassol aumentou exponencialmente (\* $P < 0,05$ ) com a temperatura acumulada em ambos os solos. Também o amendoim (Abreu, 1987; Ong, 1984), o milho painço (Mohamed *et al.*, 1988), o crisântemo (Lee *et al.*, 2003) e a fava e sorgo (Andrade & Abreu, 2005) apresentam progressões exponenciais da matéria seca durante o estabelecimento. Este comportamento corresponde à fase inicial do modelo de crescimento das culturas proposto por Goudriaan & Monteith (1990) com base em estudos sobre o crescimento foliar e a acumulação de matéria seca do sorgo e da fava.

Sob condições hídricas favoráveis, a acumulação de matéria seca ao longo do estabelecimento da ervilha foi significativamente mais rápida (\* $P < 0,05$ ) no solo Cb que no solo Pmg, enquanto que a acumulação de matéria seca do girassol foi mais rápida (\* $P < 0,05$ ) no solo Pmg que no solo Cb. Estas diferenças estão de acordo com o facto de a expansão foliar da ervilha se iniciar mais cedo no solo Cb, enquanto que a do girassol se inicia mais cedo no solo Pmg. O início precoce da expansão linear

aumenta a duração da área foliar e a quantidade de radiação solar interceptada, favorecendo a consequente produção de biomassa. O tipo de solo não afectou significativamente (\* $P < 0,05$ ) a acumulação de matéria seca do milho. No fim do estabelecimento, a matéria seca por planta de ervilha foi de  $0,19 \pm 0,039$  g no solo Pmg e de  $0,22 \pm 0,023$  g no solo Cb, a do milho foi de  $0,86 \pm 0,938$  g no solo Pmg e de  $0,37 \pm 0,281$  g no solo Cb e a do girassol foi de  $0,45 \pm 0,470$  g no solo Pmg e de  $0,26 \pm 0,048$  g no solo Cb. Não se detectaram diferenças causadas pelo tipo de solo na matéria seca de cada cultura no fim do estabelecimento, provavelmente devido à grande variação do peso de cada planta no caso do milho e do girassol.

De uma forma geral, teores médios de humidade do solo inferiores a 50% da c.u. afectaram negativamente a acumulação de matéria seca das três culturas, provavelmente devido à redução da área foliar e consequente redução da radiação solar interceptada e utilizada na produção de biomassa.

### CONCLUSÕES

Teores de humidade do solo inferiores a 50% da capacidade utilizável afectaram negativamente a expansão foliar e a acumulação de matéria seca durante o estabelecimento das culturas. Em condições hídricas favoráveis, a área foliar e a acumulação de matéria seca do girassol variaram exponencialmente com a temperatura acumulada durante o estabelecimento. No caso da ervilha e do milho, a progressão da área foliar com a temperatura acumulada foi linear enquanto que a da acumulação de matéria seca foi exponencial. O tipo de solo influenciou significativamente a expansão foliar das três culturas,

designadamente o “início de expansão foliar” da ervilha e do girassol e a “taxa térmica de expansão foliar” do milho.

### AGRADECIMENTOS

O presente estudo foi elaborado no âmbito do Projecto *CICLUS*, Programa *PRAXIS XXI* (FCT) e do Centro de Pedologia (FCT). Os autores agradecem ao Prof. Mário de Carvalho, da Universidade de Évora, a cedência das sementes utilizadas.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, F.G. 1987. *Influence of Atmospheric Saturation Deficit on Early Growth of Groundnut*. Ph. D. Thesis. Nottingham University, Nottingham, United Kingdom.
- Abreu, F.G. & Clark, J.A. 1993. Groundnut seedling emergence in relation to thermal-time and soil water. *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, **43**: 219-232.
- Andrade, J. 2001. *Temperatura do Solo (e Análise de Fourier), Humidade do Solo e Desenvolvimento Inicial de Várias Culturas em Solos Pmg e Cb*. Ph. D. Thesis. Universidade de Évora, Évora.
- Andrade, J. & Abreu, F.G. 2005. Leaf area expansion and dry matter accumulation during establishment of broad bean and sorghum at different temperatures and soil water contents in two types of soil in Mediterranean Portugal. *Annalen der Meteorologie*, **41** (1): 46-49.
- Beauchamp, E.G. & Lathwell, D.J. 1967. Effect of changes in root zone temperature on the subsequent growth and development of young corn plants. *Agronomy Journal*, **59**: 189-193.
- Bewley, J.D. & Black, M. 1994. *Seeds. Physiology of Development and Germination*. (2ed.), Plenum Press, New York and London, USA.
- Bollero, G.A., Bullock, D.G. & Hollinger, S.E. 1996. Soil temperature and planting date effects on corn yield, leaf area, and plant development. *Agronomy Journal*, **88**: 385-390.
- Bresson, L.M. 1995. A review of physical management for crusting control in Australian cropping systems research opportunities. *Austr. J. Soil Res.*, **33**:195-209.
- Cao, W. & Moss, D.N. 1989. Temperature effect on leaf emergence and phyllochron in wheat and barley. *Crop Science*, **29**: 1018-1021.
- Craufurd, P.Q., Ellis, R.H., Summerfield, R.J. & Menin, L. 1996. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*). I. The influence of temperature on seed germination and seedling emergence. *Experimental Agriculture*, **32**: 1-12.
- Draper, N.R. & Smith, H. 1981. *Applied Regression Analysis*. (2ed). J. Wiley & Sons, New York, USA.
- Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z. & Dubrovsky, M. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil condition. *Ecological Modelling*, **17**: 223-246.
- Garcia-Huidobro, J., Monteith, J.L. & Squire, G.R. 1982a. Time, temperature and germination of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H). I. Constant Temperature. *Journal of Experimental Botany*, **33**: 288-296.
- Goudriaan, J. & Monteith, J.L. 1990. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion. *Annals of Botany*, **66**, 695-701.

- Kanemasu, E.T., Bark, D.L. & Chin Choy, E. 1975. Effect of soil temperature on sorghum emergence. *Plant and Soil*, **43**: 411-417.
- Lee, J.H., Goudriaan, J. & Challa, H. 2003. Using the exponential growth equation for modelling crop growth in year-round cut chrysanthemum. *Annals of Botany*, **92**: 697-708.
- Leong, S.K. & Ong, C.K. 1983. The influence of temperature and soil water deficit on the development and morphology of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Experimental Botany*, **34**: 1551-1561.
- Marshall, B & Squire, G.R. 1996. Non-linearity in rate-temperature relations of germination in oilseed rape. *Journal of Experimental Botany*, **47**: 1369-1375.
- Mohamed, H. A., Clark, J. L. & Ong, C. K. 1988. Genotypic differences in the temperature responses of tropical crops. II. Seedling emergence and leaf growth of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). *Journal of Experimental Botany*, **39**: 1129-1135.
- Mohotti, A.J. & Lawlor, D.W. 2002. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. *Journal of Experimental Botany*, **367**: 313-322.
- Monteith, J.L. 1977. Climate. In Alvim, P.T. & Kozlowsky, T.T. (eds) *Ecophysiology of Tropical Crops*, pp. 1-25. Academic Press, New York, USA.
- Nelson, L.E. 1967. Effect of root temperature variation on growth and transpiration of cotton (*Gossypium* L.) seedlings. *Agronomy Journal*, **59**: 391-395.
- Ong, C.K. 1983. Response to temperature in a stand of pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H). I. Vegetative development. *Journal of Experimental Botany*, **34**: 322-336.
- Richards, S.J., Hagan, R.M. & McCalla, T.M. 1952. Soil temperature and plant growth. In B.T.Shaw (ed) *Soil Physical Conditions and Plant Growth*. Vol II, Agronomy Monographs 2, pp. 303-480. Academic Press, New York, USA.
- Santos, F. 2000. *Alterações Climáticas em Portugal. Adaptação e Mitigação*. Projecto SIAM <<http://www.oal.pt/~santon/seminarios2000/santos/santos.html>>
- Squire, G. R. 1989. Response to temperature in a stand of pearl millet.10. Partition of assimilate. *Journal of Experimental Botany*, **40**: 1391-1398.
- Webb, D.M., Smith, C.W. & Schulz-Schaeffer, J. 1987. Amaranth seedling emergence as affected by seeding depth and temperature on the thermogradient plate. *Agronomy Journal*, **79**: 23-36.