

APLICAÇÃO DA TERMOMETRIA AO INFRAVERMELHO À IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO: CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE¹

GUSTAVO ADOLFO PAZZETTI², MARCO ANTONIO OLIVA³ e NEI FERNANDES LOPES⁴

RESUMO - Plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas em condições de campo foram submetidas a quatro regimes de irrigação, com o propósito de estabelecer uma relação entre as variações da temperatura da copa medida com termômetro a infravermelho com a produtividade da cultura, visando introduzir a termometria ao infravermelho no monitoramento da irrigação. Os efeitos dos diferentes regimes de irrigação foram avaliados mediante as variações do acúmulo de matéria seca, índice de área foliar, taxa de acúmulo de matéria seca e variação nos componentes da produção e a produtividade. Os menores valores referentes aos parâmetros de crescimento corresponderam às plantas mantidas em menor frequência de irrigação, que apresentaram, entre turnos de rega, os maiores valores de temperatura de copa. Os decréscimos nos componentes da produção e produtividade também foram maiores nas plantas sob estresse mais acentuado. Os resultados indicaram que a temperatura da copa mostrou um relacionamento estreito com os componentes da produção e a produtividade, bem como a evolução do estresse hídrico. Isto poderá permitir um melhor aproveitamento da termometria ao infravermelho no controle da irrigação.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, variações de temperatura, monitoramento da irrigação, matéria seca, área foliar, temperatura da copa.

APPLICATION OF INFRA-RED THERMOMETRY TO IRRIGATION OF BEAN: Growth and Yield

ABSTRACT - Field grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants were subject to four irrigation regimes to establish the relationship between canopy temperature and yield, in an attempt to use infra-red thermometry for monitoring to need of irrigation. The effects of different irrigation regimes were evaluated using dry matter production, variations in leaf area, rate of dry matter accumulation, variation of yield components, and productivity. Lower values in growth parameters corresponded to plants grown under lower frequency of irrigation which also corresponded to higher canopy temperatures. Decreased in yield components were also higher in plants that suffered stress. The results indicated that the canopy temperature showed closely relationship with yield components and with productivity and also with stress evolution which makes possible the best use of infra-red thermometry for the monitoring of irrigation.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, monitoring temperature variations, irrigation monitoring, dry matter, canopy temperature, leaf area.

INTRODUÇÃO

Quando a tensão hídrica do solo se traduz em estresse na planta, ocorre o fechamento dos estômatos que mantém um nível hídrico subletal em

virtude da diminuição da transpiração. Os efeitos imediatos desse fechamento são um bloqueio na entrada de CO₂ e aumento na temperatura da folha, causado pela alteração do processo de refrigeração (Slatyer 1969, Hsiao & Acevedo 1974). Por outro lado, tem-se observado que existe estreita relação entre a evolução do déficit hídrico e variação da temperatura de copa (Pazzetti 1990), a qual pode ser correlacionada com a umidade do solo para verificar a possibilidade do seu uso no monitoramento da irrigação e na predição da produtividade (Ehrler et al. 1978).

¹ Aceito para publicação em 21 de maio de 1993.

² Eng.-Agr. M.Sc., Dep. Biologia Vegetal, Universidade de Viçosa (UFV), CEP 36570-000 Viçosa, MG.

³ Biólogo, Dr. rer. nat., Prof.-Adj., Dep. Biologia Vegetal, UFV.

⁴ Eng.-Agr. Ph.D., Prof.-Adj., Dep. Biologia Vegetal, UFV.

A temperatura da copa pode ser obtida de forma rápida e exata mediante uso do termômetro a infravermelho (Fuchs et al. 1967, Idso et al. 1977); isto tem permitido que essa técnica seja usada na atualidade para estimar as condições hídricas em feijão (Hatfield 1979, Kretchmer et al. 1980, Bascur et al. 1985a). Dessa maneira, estabelecendo-se uma relação entre os processos fisiológicos que afetam a produção, com as variações de temperatura de copa em planta sob diferentes regimes de irrigação, podem estabelecer-se valores críticos deste parâmetro que revelem o início do estresse hídrico, possibilitando, assim, o uso da termometria ao infravermelho no monitoramento da irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca foram cultivadas durante o período de seca (20.03 a 25.06.88), na área do CNPMS da EMBRAPA, no município de Sete Lagoas, MG. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho-Escuro distrófico de textura argilosa, de acordo com as Normas Brasileiras de Ciência do Solo.

Conforme análise química previamente efetuada, após o preparo do solo efetuou-se, simultaneamente à sementeira mecânica, a adubação de plantio, realizada no próprio sulco com a formulação 8-28-16, N-P₂O₅-K₂O, à base de 200 kg/ha.

Foram estabelecidas quatro parcelas com espaços, entre si, de 6 m. As dimensões de cada parcela foram de 324 m² (18x18 m) adotando espaçamento, entre fileiras, de 0,5 m e densidade populacional após desbaste de 300.000 plantas/ha. Todas as parcelas foram uniformemente irrigadas até o 25º dia após a emergência (DAE), quando foram usados quatro regimes de irrigação, condicionados por quatro níveis de tensão máxima de água no solo (TH1 ≅ 0,04MPa; TH2 ≅ 0,07MPa; TH3 ≅ 0,3MPa e TH4 ≅ 1,5MPa). A partir dessa data, a irrigação foi realizada de maneira separada, utilizando aspersores setoriais adequados às dimensões das parcelas.

A irrigação em cada parcela foi feita quando o solo atingia seu limite máximo de tensão de água preestabelecido. O monitoramento da tensão de água no solo foi realizado através das leituras diárias das colunas de mercúrio dos tensiômetros e das resistências elétricas

de blocos de gesso instalados em cada parcela à profundidade de 0,2 e 0,4 m.

O controle de ervas daninhas foi realizado dois dias após a sementeira, utilizando o herbicida metalachlor em pré-emergência na dose de 0,72 kg de i.a./ha. Registrou-se ataque de vaquinha (*Diabrotica* sp) com oito DAE; procedeu-se, então, ao seu controle químico, à base do inseticida demeton-etil.

A partir do 15º DAE, foram programadas coletas destrutivas de material vegetal, a intervalos regulares de sete dias. Em cada parcela foram colhidas três repetições; as plantas foram cortadas rente ao solo, para posterior separação em partes e quantificação da área foliar. O peso da matéria seca foi obtido por secagem do material vegetal em estufa de ventilação forçada a 75 °C.

A determinação da área foliar foi realizada mediante emprego de integrador eletrônico de área, sendo considerado, na medição, apenas o limbo foliar. Os dados primários de peso seco total (Wt) e área foliar (Af) foram submetidos à análise de variância. Curvas logísticas de crescimento foram ajustadas por um programa interativo, para minimizar a variância residual. A equação logística empregada foi $(Wt) = Wm/(1+B.e^{-C.t})$, sendo Wm a estimativa assintótica do crescimento máximo, t o tempo em dias, e B e C, constantes de ajustamento (Richards 1969). Efetuou-se também a análise de regressão curvilínea das médias de Af acumuladas em cada coleta, através do emprego de polinômios ortogonais. Procurou-se chegar ao polinômio que melhor se ajustasse aos valores de Af observados de acordo com Richards (1969). A taxa de produção de matéria seca (Ct) foi obtida pela derivada da equação ajustada de Wt em relação ao tempo. A taxa assimilatória líquida (EA) foi calculada com o emprego da equação $EA = Ct/Af$.

Durante a fase reprodutiva da cultura, acompanhou-se a evolução da temperatura da copa ao longo do turno de rega para cada tratamento, no intervalo horário das 12 às 14 horas. A partir desses valores, foram estabelecidos diferenciais de temperatura de copa entre tratamentos (Δt_c), tomando como referência as plantas sob regime de irrigação TH1, que, devido à maior frequência de irrigação, sempre apresentaram valores mínimos e constantes de temperatura de copa durante os turnos de rega. Pelo somatório desses Δt_c , obteve-se o índice de seca ($\Sigma \Delta t_c$) para cada tratamento por turno de rega. De posse desses valores, estabeleceu-se o re-

lacionamento entre o $\Sigma \Delta t_c$ e os componentes da produção e a produtividade para cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Reduções drásticas como conseqüência dos diferentes regimes de irrigação foram registradas no acúmulo de matéria seca (Wt), taxa de produção de matéria seca (Ct) e o índice de área foliar (L), ao longo do ciclo da cultura (Fig. 1A, B e C). A diferença entre tratamentos relativa a esses parâmetros de crescimento tornou-se evidente a partir do 25º DAE, correspondendo, os menores valores, até o final do ciclo da cultura, aos das plantas sob maior tensão de água no solo (TH3 e TH4),

resultado da menor freqüência de irrigação a que foram submetidas.

Hidratações inadequadas decorrentes da seca conduzem a reduzidos potenciais hídricos na planta, e, conseqüentemente, ao fechamento parcial ou completo dos estômatos (Ehrler et al. 1978, Pazzetti 1990), resultando em drástica redução do fluxo de CO₂ para os sítios de carboxilação, o que se traduz em diminuição da fotossíntese e do crescimento tanto vegetativo como reprodutivo (Ehrler et al. 1978). Por outro lado, plantas sob deficiência hídrica, elevadas densidades de fluxo radiante e tendo um dos principais mecanismos de refrigeração bloqueado pelo fechamento estomático, além de ter reduzida

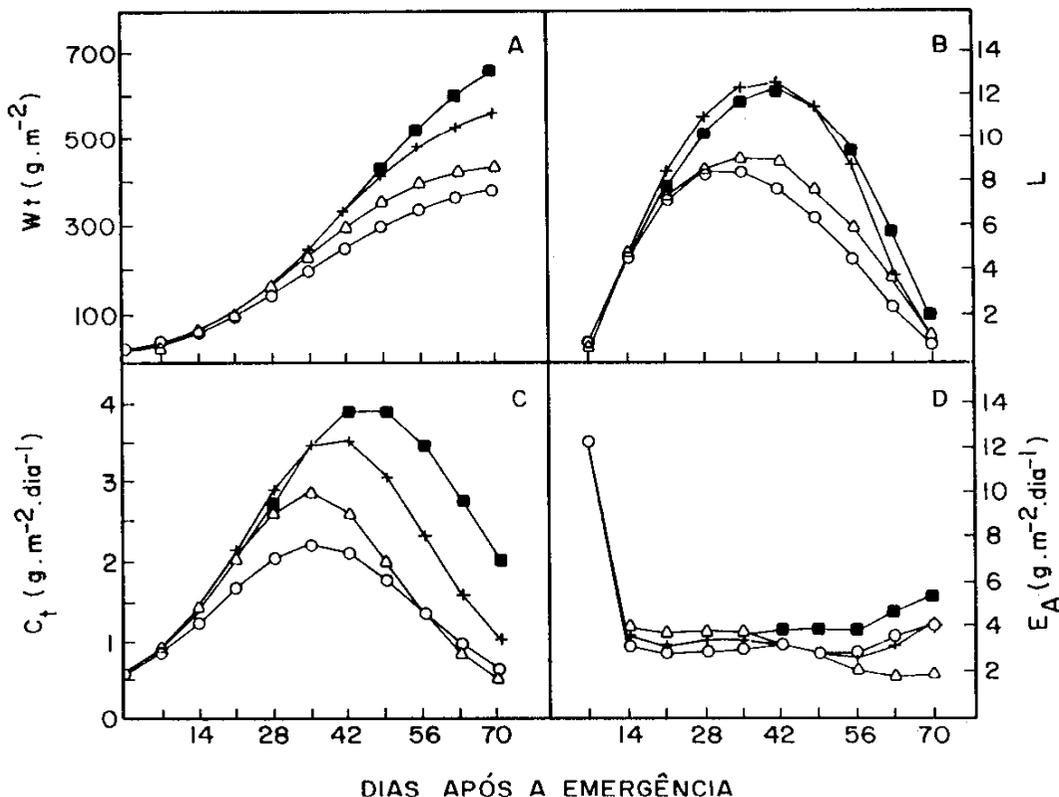


FIG. 1. Variação na matéria seca total (Wt), índice de área foliar (L), produção de matéria seca (Ct) e taxa assimilatória líquida obtida ao longo do ciclo de plantas de feijão sob quatro regimes de irrigação: TH1 (■—■); TH2 (+—+); TH3 (Δ—Δ) e TH4 (O—O).

sua taxa fotossintética apresentam maior consumo de carboidratos, o que finalmente incide num menor acúmulo de matéria seca (Fig. 1A).

Outro dos principais efeitos do déficit hídrico sobre o crescimento das plantas é a redução de L (Fischer & Hagan 1965, Acevedo et al. 1971). Essa redução resulta da diminuição do alongamento celular (Hsiao & Acevedo 1974). Quando A_F diminui por efeito do déficit hídrico, deve-se esperar redução da matéria seca (Lopes et al. 1986), uma vez que é alterado o aproveitamento da energia luminosa, em consequência da redução da superfície responsável pela interceptação da radiação solar. Dessa maneira, a redução do W_t parece ser atribuída, em primeiro plano, à menor disponibilidade de água no solo - que acaba por traduzir-se num estresse hídrico, e, conseqüentemente, num prolongado fechamento estomático, o que diminui a assimilação de CO_2 , à redução da área foliar (Fig. 1B) e ao gasto excessivo das reservas por aceleração dos processos oxidativos resultantes do incremento da temperatura foliar. Reduções em W_t , função da menor disponibilidade de água no solo, têm sido anteriormente reportadas por Jung & Scott (1980), Markhart (1985) e Lopes et al. (1986).

Os valores máximos de C_t foram: 13,9; 12,4; 10,0 e 7,7 g/m^2 .dia, respectivamente para as plantas sob regime de irrigação TH1; TH2; TH3 e TH4 (Tabela 1). Pode ser verificado que as plantas sob maior deficiência hídrica (TH3 e TH4), além de terem apresentado um menor valor de C_t , este foi atingido de maneira mais rápida (35 DAE) em relação às plantas sob maior disponibilidade de água no solo com 46 e 40 DAE, respectivamente, para TH1 e TH2 (Fig. 1C, Tabela 1). Estudos realizados por Bascur (1981) também

TABELA 1. Valores máximos da taxa de produção de matéria seca (C_t), obtidos em plantas de feijão cultivadas sob quatro regimes de irrigação (RI), e dias após a emergência (DAE) no alcance desses valores.

RI	C_t (g/m^2 .dia)	DAE
TH1	13,9	46
TH2	12,4	40
TH3	10,0	35
TH4	7,7	35

mostraram que o déficit hídrico induziu a antecipação no alcance do C_t máximo. Tal fenômeno parece ser uma resposta das plantas no sentido de completar seu ciclo de maneira mais rápida, quando afetadas por determinado fator edafoclimático, como é o caso da deficiência hídrica.

Os decréscimos observados em C_t em consequência dos diferentes regimes de irrigação podem ser decorrentes das reduções em E_A e L, uma vez que C_t , para esta cultura, é expressa como o produto de $E_A \times L$ (Lopes et al. 1986). Entretanto, as reduções observadas em C_t parecerem decorrer principalmente das reduções ocorridas em L (Fig. 1B), uma vez que não foram observadas diferenças na E_A entre os diferentes tratamentos ao longo do ciclo das plantas (Fig. 1D). Os valores de E_A para cada tratamento foram maiores na fase vegetativa e decresceram na fase reprodutiva (Fig. 1D). Esse comportamento corrobora com o obtido por Koller et al. (1970), Lopes et al. (1986) e Almeida et al. (1988). Watson (1952, 1958) chamou a atenção para o fato de E_A variar mais em função da ontogenia das plantas do que em função dos fatores do ambiente, e quando o déficit hídrico é retirado E_A , atinge taxas normais, propiciando, assim, valores semelhantes aos obtidos com plantas não estressadas.

A deterioração dessas propriedades fisiológicas por efeito do estresse hídrico resultou finalmente em decréscimos na produção. Tais decréscimos podem ser correlacionados com o estado hídrico das plantas através do $\Sigma \Delta t_c$ (Bascur et al. 1985b).

Durante todo o ciclo, e especificamente durante as fases de florescimento e enchimento de vagens, observou-se que as plantas sob regime de irrigação TH2 e principalmente TH3 e TH4 apresentaram, entre turnos de rega, e no intervalo horário das 12 às 14 horas, valores de temperatura da copa cada vez maiores na medida em que maior se tornava a tensão hídrica no solo. Esses valores, foram máximos para cada tratamento na condição limite de tensão de água no solo preestabelecida (Tabela 2). Por outro lado, as plantas sob regime TH1, portanto sob maior frequência de irrigação, além de apresentarem sempre os menores valores de temperatura de copa, esses valores se mostraram constantes entre turnos de rega, pelo que, tais plantas foram tomadas como referência para o cálculo dos Δt_c . O somatório destes

Atc obtidos durante o turno de rega resultou na obtenção do índice de seca ($\Sigma\Delta tc$) (Tabela 2). Mediante esse parâmetro é possível prever o estado hídrico da cultura e conseqüentemente correlacioná-lo com a produtividade (Bascur et al. 1985b).

Os dados na Fig. 2 demonstram que a produtividade, número de grãos e matéria seca de vagens, decresceram de forma exponencial quando relacionados com o $\Sigma\Delta tc$. Os decréscimos foram

TABELA 2. Valores médios de temperatura de copa (tc), diferenciais de tc (Δtc) obtidos ao meio-dia em plantas de feijão na condição máxima de tensão de água no solo preestabelecida para cada regime de irrigação (RI) e valor do índice de seca ($\Sigma\Delta tc$) obtido no final do turno de rega.

RI	tc (°C)	Δtc (°C)	$\Sigma\Delta tc$ (°C)
TH1	26,1	0,0	0,0
TH2	26,5	0,4	6,0
TH3	29,3	3,2	16,0
TH4	32,0	5,9	33,0

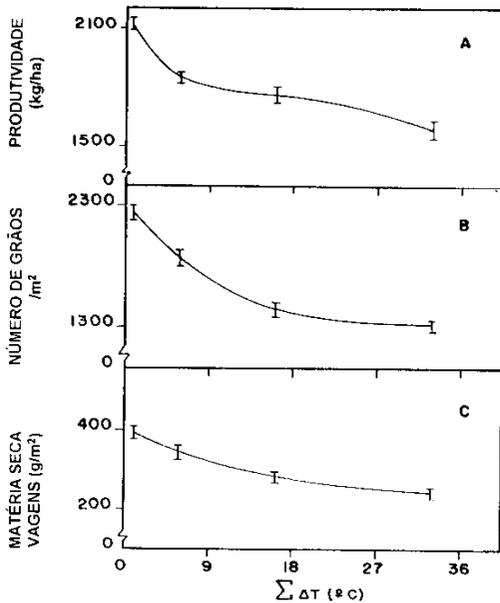


FIG. 2. Relação entre a variação na produtividade número de grãos, e matéria seca de espiga com o índice de seca em plantas de feijão.

mais acentuados até valores de 16,0 °C, seguindo posteriormente um declínio menos pronunciado até valores de 33,0 °C no $\Sigma\Delta tc$.

Acréscimos da ordem de 6,0; 16,0 e 33,0 °C no $\Sigma\Delta tc$ resultaram em decréscimos de 13; 16 e 24% da produtividade nas plantas sob regime TH2, TH3 e TH4, respectivamente, em relação às plantas sob regime TH1 (Tabela 3). As reduções na produtividade parecerem ser decorrentes principalmente das diminuições ocorridas no número de grãos, que foi fortemente afetado pelos diferentes regimes de irrigação, atingindo redução máxima de 42,3% (Tabela 4). Isto evidencia que a deficiência hídrica afetou significativamente a produtividade (Tabela 3). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Dasberg & Baker (1970), Maurer et al. (1969) e Jung & Scott (1980), que também observaram que a diminuição da umidade no solo afetou o rendimento final da cultura do feijão.

As reduções máximas na matéria seca de va-

TABELA 3. Produtividade (Pr) obtida em plantas de feijão sob quatro regimes de irrigação (RI) e redução na produtividade obtidas em plantas sob RI: TH1, TH2 e TH3, em relação às plantas sob RI TH1.

RI	Pr (kg/ha)	Redução (%)
TH1	2104 a	- * -
TH2	1846 ab	13,0
TH3	1771 ab	16,0
TH4	1598 b	24,0

As médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%.

TABELA 4. Redução de número de grãos (Ng) e matéria seca de vagem (Msv) obtidos em plantas de feijão sob regimes de irrigação (RI): TH2, TH3 e TH4 em relação às plantas sob RI TH1, e sua relação com o índice de seca ($\Sigma\Delta tc$) obtido no final do turno de rega.

RI	$\Sigma\Delta tc$ (°C)	Redução (%)	
		Ng	Msv
TH2	6,0	18,1	13,5
TH3	16,0	30,4	26,7
TH4	33,0	42,3	37,6

gens e número de grãos foram da ordem de 37,6 e 42,3, respectivamente (Tabela 4). Esses resultados são coerentes com os obtidos por Bascur (1981), que observou que os parâmetros mais afetados pela deficiência hídrica foram: número de vagens por m² e por planta, número de sementes por vagem e redução na produtividade final. Além disso, observou que as plantas menos afetadas pelo déficit hídrico apresentavam menores valores de $\Sigma\Delta t_c$, e que essas plantas não apresentavam variações nos parâmetros de crescimento e componentes da produção.

Considerando-se a boa relação entre a evolução do déficit hídrico e a evolução da temperatura da copa, bem como o estreito relacionamento entre os decréscimos nos componentes da produção e a produtividade, com os acréscimos no $\Sigma\Delta t_c$, a termometria ao infravermelho pode ser considerada como alternativa válida para monitorar a irrigação, quando relacionada com os componentes da produção e a produtividade.

CONCLUSÕES

1. Foi estabelecida uma relação entre os decréscimos nos componentes da produção e na produtividade com os acréscimos na temperatura de copa e conseqüentemente com os índices de seca.

2. A evolução do esgotamento de água no solo, a evolução da temperatura de copa e os diferenciais de temperatura da copa mostraram-se estreitamente relacionados.

3. Os resultados permitem indicar que a temperatura da copa e os diferenciais de temperatura da copa podem ser empregados no monitoramento da irrigação.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO, E.; HSIAO, T.C.; HENDERSON, P.W. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology*, v.48, p.631-636, 1971.

ALMEIDA, A.A. de E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; BARROS, R.S. Doses de nitrogênio e densidades de luz no crescimento do feijoeiro e na conversão da energia solar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.23, n.1, p.849-859, 1988.

BASCUR, G.A.B. Estudo da resistência à seca em doze cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), mediante termometria infravermelha. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1981. 63p. Tese Mestrado.

BASCUR, G.A.B.; OLIVA, M.A.; LAING, D. Termometria infrarroja en selección de genótipos de frijol resistentes a la sequía. II Bases fisiológicas. *Turrialba*, v.35, n.1, p.43-47, 1985a.

BASCUR, G.A.B.; OLIVA, M.A.; LAING, D. Termometria infrarroja en selección de genótipos de frijol resistentes a la sequía I. Crecimiento y productividad. *Turrialba*, v.35, n.1, p.49-53, 1985b.

DASBERG, S.; BAKER, J.W. Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for beans growth. *Agronomy Journal*, v.62, p.689-672, 1970.

EHRLER, W.L.; IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Wheat canopy temperature: Relation to plant water potential. *Agronomy Journal*, v.70, p.251-256, 1978.

FISCHER, R.A.; HAGAN, R.M. Plant, water relations irrigation, management and crop yield. *Experimental Agriculture*, v.1, p.166-177, 1965.

FUCHS, M.; KANEMASU, E.T.; KERR, J.P.; TANNER, C.B. Effect of viewing angle on canopy temperature measurements with infra-red thermometers. *Agronomy Journal*, v.59, p.494-496, 1967.

HATFIELD, J.L. Canopy temperatures: the usefulness and reability of remote measurements. *Agronomy Journal*, v.71, p.889-892, 1979.

HSIAO, T.C.; ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water-use efficiency and drought resistance. *Agricultural Meteorology*, v.14, p.59-84, 1974.

IDSO, S.B.; JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. Remote sensing of crop yield. *Science*, v.196, p.19-25, 1977.

JUNG, P.K.; SCOTT, H.D. Leaf water potential stomatal resistance, and temperature relations in field-grown soybeans. *Agronomy Journal*, v.72, p.986-990, 1980.

KOLLER, H.R.; NYQUIST, W.E.; CHORUSH, I.S. Growth analysis of the soybean community. *Crop Science*, v.10, p.407-412, 1970.

KRETCHMER, P.J.; LAING, D.R.; ZULUAGA, S. Uso del termómetro infrarrojo para selección por tolerancia a sequía en *Phaseolus vulgaris* L. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1980. 10p.

- LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; CARDOSO, M.J.; GOMEZ, M.M.S.; SOUZA, V.F. de. Crescimento e conversão de energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três densidades de fluxo radiantes e dois regimes hídricos. *Ceres*, v.33, p.142-164, 1986.
- MARKHART, A.H. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. *Plant Physiology*, v.77, p.113-117, 1985.
- MAURER, A.R.; ORMOROD, D.P.; SCOTT, N. Effect of five soil water regimes on growth and composition of snap beans. *Canadian Journal Plant Science*, v.49, p.271-273, 1969.
- PAZZETTI, G.A.O. Aplicação da termometria infravermelha na irrigação das culturas do milho (*Zea mays* L.) e do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1990. 61p. Tese Mestrado.
- RICHARDS, F.J. The qualitative analysis of growth. In: STEWARD, F.C. (Ed) *Plant physiology, a treatise*. New York: Academic Press, 1969. p.3-76.
- SLATYER, R.O. Physiological significance of internal water relation to crop yield. In: DINAUER, R.C. (Ed). *Physiological aspects of crop yield*. Madison: American Society of Agronomy & Crop Science of America, 1969. p.53-58.
- WATSON, D.J. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. *Annals of Botany*, v.22, p.37-54, 1958.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy*, v.4, p.101-145, 1952.