

**ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO DA CULTURA (IEHC) COMBINADO
COM A TEMPERATURA DE ESTRESSE DIÁRIO (TED) EM FEIJOEIRO
(*Phaseolus vulgaris* L.), SUBMETIDO A DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE
IRRIGAÇÃO**

Paulo Emilio Pereira de Albuquerque

EMBRAPA - Milho e Sorgo - Cx. Postal 151

Fone: (031) 773-5644 (R-137) - Fax: (031) 773-9252

CEP: 35701-970 - Sete Lagoas - MG - Brasil

Antonio Evaldo Klar

UNESP - Câmpus de Botucatu - Faculdade de Ciências Agrônômicas

Dep. de Eng. Rural - Cx. Postal 237

Fone: (014) 821-3883 - Fax: (014) 821-3438

CEP: 18603-970 - Botucatu - SP - Brasil

1 RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi estimar valores do *índice de estresse hídrico da cultura* combinado com a *temperatura de estresse diário* (IEHC_C) em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), submetido a cinco frequências de irrigação: 2, 4, 8, 12 e 16 dias. Os tratamentos foram estabelecidos em blocos casualizados com 4 repetições. As temperaturas da copa vegetal (T_c) foram medidas, através do termômetro a infravermelho, em dois períodos: de manhã (entre 10 e 11 horas) e de tarde (entre 13 e 14 horas). A maior produção de grãos (2755kg.ha⁻¹) foi obtida na frequência de irrigação de 2 dias, com perdas relativas de 0,181; 16,7; 42,5 e 61,6%, para as frequências de 4, 8, 12 e 16 dias, respectivamente. Não houve diferença estatística entre as frequências de 2, 4 e 8 dias, para a produção. As lâminas totais de água aplicadas foram de 482,0; 439,6; 385,6; 326,5 e 290,4mm, para as frequências de 2, 4, 8, 12 e 16 dias, respectivamente. Os valores do IEHC_C estimados para o período da manhã acompanharam os da tarde, porém, os máximos ocorreram à tarde, sendo esse o período recomendável para as leituras de T_c. Um valor limite de 0,15 para o IEHC_C pode ser o estipulado além do qual haverá perda significativa de rendimento da cultura do feijoeiro.

UNITERMOS: índice de estresse hídrico da cultura, temperatura de estresse diário, frequência de irrigação, programação da irrigação, termometria a infravermelho.

ALBUQUERQUE, P.E.P. de, KLAR, A.E. Crop water stress index (CWSI) combined with temperature stress day (TSD) on the bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) submitted to different irrigation frequencies

2 ABSTRACT

The objective of the present work was to estimate values of *crop water stress index* combined with *temperature stress day* (CWSI_c) on a bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) submitted to five irrigation frequencies: 2, 4, 8, 12 and 16 days. The treatments were established in randomized blocks with 4 replications. The temperatures of canopy (T_c) were measured with infrared thermometer on two periods: morning (between 10 and 11 o'clock) and afternoon (between 13 and 14 o'clock). The best yield (2755 kg.ha⁻¹) was obtained on irrigation frequency of 2 days, and the relative losses of yield were 0.181, 16.7, 42.5 and 61.6% for the frequencies of 4, 8, 12 and 16 days, respectively. The frequencies of 2, 4 and 8 days did not differ among itself for yield. The total heights of water applied were 482.0, 439.6, 385.6, 326.5 and 290.4mm, for the frequencies of 2, 4, 8, 12 and 16 days, respectively. The values of CWSI_c estimated for morning period obtained the same tendency of the values of afternoon period, but the maximum values occurred on afternoon which period was recommended for measures of T_c. A value of 0.15 for the CWSI_c may be stipulated as the upper limit above that may be harmful to yield of the bean crop.

KEYWORDS: crop water stress index, temperature stress day, irrigation frequency, irrigation scheduling, infrared thermometry.

3 INTRODUÇÃO

Uma forma de racionalizar o uso da água de irrigação é programá-la com o índice de estresse hídrico da cultura (IEHC), que se baseia na evapotranspiração da cultura (ET_c). A relação entre a ET_c na condição atual ou real e a ET_c na condição potencial ou máxima (sem estresse), subtraída da unidade, fornecerá o IEHC para a cultura em questão, em determinado período de tempo (minuto, hora, dia, semana, mês ou ciclo cultural).

Um método promissor para estimar o IEHC e, posteriormente, poder-se programar a irrigação, é o apresentado por Jackson (1982), que tem como princípio medições de temperatura do dossel vegetativo, através da termometria a infravermelho, e aplicá-las em equações do balanço de energia, para obter a ET_c . Essa técnica, estando devidamente calibrada e/ou ajustada a uma dada cultura ou a um dado local, fornecerá ao irrigante, em tempo real, a informação do momento de irrigar e o requerimento de água para a sua cultura.

O elo entre parâmetros que refletem o *status* de água na planta e temperatura da copa da planta (T_c) é muito complexo. As relações entre T_c e a evapotranspiração (ET) envolvem inúmeras outras variáveis, que não são constantes durante o período de desenvolvimento. No entanto, T_c é medida com relativa facilidade e tem sido usado como um parâmetro chave para um grande número de índices de estresse (Berliner et al., 1984).

Idso et al. (1977), citados por Clawson et al. (1989), foram uns dos primeiros a utilizar a diferença da temperatura da copa e a do ar ($T_c - T_a$) como uma forma de estabelecer estresse hídrico da cultura. Um dos primeiros índices foi o que se chamou de *graus dias de estresse* (GDE), que funcionou bem em regiões áridas, mas, subsequentemente, foi normalizado para condições de regiões úmidas.

Idso et al. (1981) idealizaram um método empírico para tratar o problema do IEHC, mas foi Jackson (1982) que o estudou com base teórica. Concomitantemente com o desenvolvimento do IEHC, um outro índice chamado de *temperatura de estresse diário* (TED) foi proposto por Gardner et al. (1981). A simplicidade da TED está no fato de que se requerem medições de temperatura da copa (T_c) de plantas estressadas e se comparam com medidas de T_c de plantas bem irrigadas, sendo essas de mesma variedade e estando no mesmo tipo de solo.

Uma vez que tanto o saldo de radiação (R_n) quanto o déficit da pressão de vapor (DPV) variam diariamente, um valor idêntico de TED obtido em dias diferentes, ou mesmo em horas diferentes, pode não necessariamente indicar o mesmo nível de estresse. A TED não é independente dos vários parâmetros que atuam na atmosfera. Portanto, Clawson et al. (1989) examinaram os fatores teóricos e empíricos que afetam as diferenças entre T_c de culturas estressadas e bem irrigadas. Dentro desse enfoque, sugeriram a unificação dos índices TED e IEHC, de forma que se possa torná-la universalmente aplicável.

Clawson et al. (1989) relatam as vantagens do uso da TED associada ao IEHC. Essa associação evidencia as boas características dos dois índices e as suas complicações são amplamente vencidas. Talvez o maior potencial do uso desse índice híbrido esteja na sua aplicação através da aquisição de dados por fotos aéreas ou por

satélites. As temperaturas mais baixas de uma determinada cultura, numa específica região geográfica, poderia ser admitida representar o limite inferior de T_c . Essa suposição seria particularmente apropriada para áreas irrigadas, onde o índice seria o valor mais alto para programar a irrigação.

Diante da importância de programar adequadamente a irrigação da cultura, visando o uso eficiente da água, foi objetivo específico do presente trabalho determinar valores do índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) combinado com a temperatura de estresse diário (TED), em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), submetido a cinco frequências de irrigação: 2, 4, 8, 12 e 16 dias.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido, em condições de campo, na área experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa - Milho e Sorgo), localizada em Sete Lagoas, Minas Gerais, cujas coordenadas são 19°28' de latitude sul, 44°15' de longitude oeste e 732m de altitude.

O clima típico do local é classificado como Aw, segundo Köppen, ou seja, de savana com inverno seco e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18°C. Para o período de condução do experimento (julho a outubro), os parâmetros meteorológicos médios observados entre 1935 e 1993 variaram nas seguintes faixas: temperatura média mensal, de 18,9 a 23,3°C; temperatura máxima, de 25,7 a 28,8°C; temperatura mínima, de 10,8 a 16,6°C; precipitação mensal, de 8,3 a 110,5mm; umidade relativa, de 61,5 a 67,8% e insolação mensal, de 199,9 a 278,4h (Sans e Avelar, 1994).

O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Escuro álico, fase cerrado, com relevo suavemente ondulado. Esse solo apresenta a classificação textural como muito argiloso, possuindo alta condutividade hidráulica saturada e baixa capacidade de retenção de água (cerca de 8% em volume).

Foi utilizada a cultivar de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) Capixaba Precoce (grupo Preto), que foi semeada no dia 26/07/1995.

O preparo do solo consistiu de uma aração com arado de aiveca e, em seguida, de gradagem com grade niveladora. O espaçamento entre fileiras de plantio foi de aproximadamente 45cm, para se obterem 7 fileiras por parcela, cujas dimensões foram 3,05m de largura por 6,00m de comprimento. Foram semeadas 12-14 sementes por metro de fileira, procurando-se obter uma população final próxima de 220.000 plantas por hectare.

A adubação do plantio foi baseada na análise do solo, que constou na aplicação nas fileiras de plantio de 50kg.ha⁻¹ de uréia, 300kg.ha⁻¹ de superfosfato simples e 50kg.ha⁻¹ de cloreto de potássio. Também, no dia do plantio, foi aplicada

uma lâmina de 41.7mm de água sobre toda a área, pelo sistema de irrigação por aspersão. A adubação de cobertura foi feita aos 26 dias após o plantio (dap) com 100kg.ha⁻¹ de uréia.

O delineamento estatístico usado foi o de blocos casualizados, constando de 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos se basearam em frequências diferenciadas de irrigação aplicadas à cultura, de modo a submeter alguns tratamentos a determinados estresses hídricos. Tais tratamentos foram: T2, T4, T8, T12 e T16, para 2, 4, 8, 12 e 16 dias, respectivamente, de intervalo entre irrigações.

Cada parcela foi irrigada, a partir dos 29 dap, com a cultura no estágio da emissão do terceiro trifólio, com um sistema manual descrito por Braga (1996), segundo o qual, fornece uma uniformidade de distribuição bem elevada. Anteriormente, as irrigações eram comuns para todas as parcelas, as quais eram efetuadas com um sistema de aspersão convencional.

O volume de água aplicado em cada parcela foi controlado por hidrômetro instalado na mangueira que se conectava ao tubo perfurado.

O cálculo da lâmina de irrigação aplicada em cada tratamento foi baseado em leituras de tensiômetros, instalados nas parcelas, ou em valores do teor de água no solo, obtidos pelo método gravimétrico, observados no dia da irrigação, em conjunto com a curva de retenção do solo do local.

Foram coletados, num intervalo médio de 7 dias, amostras de plantas (3 por parcela) para determinação da altura da planta (h_c). Na última coleta, também foram determinados os componentes da produção, tais como o número de vagens por planta, o número de sementes por vagem, peso de 1000 sementes e a produção, que foi corrigida para 13% de umidade. Também foram determinados a altura de inserção da primeira vagem e o índice de colheita (IC).

Diariamente, foram registrados numa estação climatológica portátil eletrônica (equipada com um *datalogger*, para aquisição, através de sensores, e armazenamento de dados), modelo LI-1200, da *Li-Cor*, as temperaturas média, mínima e máxima do ar, a precipitação e a radiação solar global (R_g). Esse equipamento foi instalado em local anexo à área experimental, posicionado em abrigo a 2m do solo. Também, nessa mesma altura, foi instalado próximo à área um anemômetro totalizador.

Para coletas contínuas de dados do saldo de radiação (R_n), do fluxo de calor no solo (G) e do albedo da cultura (α), foram instalados, respectivamente, saldo-radiômetro, a 1.5m acima da superfície do solo, no tratamento T2; placas de fluxo de calor no solo, a 2cm de profundidade, nos tratamentos T2, T8 e T16; e albedômetro, a 1.5m da superfície do solo, no tratamento T2. Esses sensores, da marca japonesa *Eko*, foram acoplados a um registrador eletrônico com diagrama analógico, da *Yookogawa Corp.*.

A Estação Climatológica Principal da Embrapa - Milho e Sorgo, ligada à rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), distante uns 1500m da área experimental, forneceu alguns parâmetros (pressão atmosférica e umidade relativa) necessários em alguns cálculos ou informativos do local.

A temperatura da copa da cultura (T_c) era obtida, diariamente, em dois períodos, um de manhã (aproximadamente, de 10 às 11h) e outro de tarde (aproximadamente, de 13 às 14h), em condição de céu claro. Foi empregado para tal o termômetro a infravermelho, modelo ER 2008, da *National*, com as seguintes características técnicas: ângulo de visada de um grau, intervalo de medida de temperatura de -30 a +300°C, precisão da medida de $\pm 1,5^\circ\text{C}$, sensibilidade de $0,1^\circ\text{C}$, tempo de resposta de aproximadamente 1s, faixa espectral de 8 a $10\mu\text{m}$ e emissividade de 0,98. As medições com o termômetro eram feitas com o aparelho posicionado num ângulo próximo de 45° em relação à superfície do dossel vegetal, a uma distância perto de 2m, resultando num diâmetro de visada de aproximadamente 7cm. Eram realizadas quatro leituras com o operador voltado para um dos quatro pontos cardeais, totalizando 16 leituras por parcela. Como não foram verificadas grandes discrepâncias entre todos os valores obtidos dentro de cada parcela, independente do ponto cardinal, adotou-se o método de Chauvenet (Holman, 1989) para exclusão dos valores extremos e melhorar o desvio-padrão. Dessa forma, dos 16 valores lidos, dependendo da parcela e do dia da leitura, uma média de 10-12 foram utilizados para cálculo da T_c média, reduzindo-se o coeficiente de variação para uma faixa média de 2 a 3%.

De posse de todos os parâmetros medidos, utilizou-se a equação apresentada por Allen et al. (1989) e Jensen et al. (1990) para estimativa da resistência aerodinâmica (r_a).

Assim, pôde-se obter, diariamente, o IEHC_C através da seguinte equação, para os períodos da manhã e da tarde, nos quais se faziam leituras no termômetro a infravermelho (Clawson et al., 1989):

$$IEHC_C = \frac{T_c - T_{ci}}{T_a + \frac{R_n \cdot r_a}{\rho \cdot c_p} - T_{ci}} \quad (1)$$

onde:

IEHC_C - índice de estresse hídrico da cultura combinado com a temperatura de estresse diário

T_c - temperatura da copa da cultura ($^\circ\text{C}$)

T_a - temperatura do ar ($^\circ\text{C}$)

T_{ci} - limite inferior para a T_c ($^\circ\text{C}$)

R_n - saldo de radiação ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

r_a - resistência aerodinâmica à transferência de calor ($\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$)

ρ - densidade do ar ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)

c_p - calor específico do ar úmido à pressão constante ($\cong 1013\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$)

Logicamente, T_{ci} foi medida nas parcelas do tratamento T2. Dessa forma, o IEHC_C requereu somente medições diretas de R_n , T_a , T_c e T_{ci} , enquanto que a r_a foi estimada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Do plantio até os 28 dias após o plantio (dap), todos os tratamentos receberam igualmente 118,8mm de lâmina total de irrigação, numa frequência média de 4 dias. A partir dos 29 dap, período em que as plantas se encontravam no estágio do terceiro trifólio, ocorreu a diferenciação dos tratamentos.

As lâminas totais aplicadas (do plantio até a colheita), em cada tratamento, incluindo as lâminas de precipitação, estão apresentadas na Figura 1. Observa-se nessa figura que as chuvas representaram 66,0mm do total de água aplicada, mas que interferiram pouco sobre o estresse previsto, pois só ocorreu precipitação de valores maiores aos 54 e 57dap (26,2 e 19,8mm, respectivamente), concentrando-se o restante na fase final do ciclo da cultura, com valores que variaram de 1,8 a 8,6mm.

Em consequência das chuvas, que perfizeram um total de 7 eventos, houve pequena alteração na frequência média de aplicação de água para os diferentes tratamentos, a partir dos 29 até os 83dap. Desde o plantio, no tratamento T2 realizaram-se 39 eventos de aplicação de água (irrigação + chuva); no T4, 26 eventos; no T8, 21; no T12, 19 e no T16, 17. As lâminas médias aplicadas por evento, em cada tratamento, foram de 12,4; 16,9; 18,4; 17,2 e 17,1mm, respectivamente.

Foi considerado, para efeito de análise dos resultados para o índice de estresse hídrico da cultura (IEHC), o período do ciclo da cultura do feijoeiro correspondente à diferenciação dos tratamentos (29 dap) até próximo o início da maturação (80 dap).

A altura de plantas está mostrada na Figura 2. Pode-se notar que o período com a maior taxa de crescimento se deu dos 45 aos 65dap, correspondentes às fases de florescimento e enchimento de vagens.

As equações de ajuste para a altura seguiram o modelo de Boltzman (sigmoïdal) que, segundo os tratamentos T2, T4, T8, T12 e T16, foram, respectivamente:

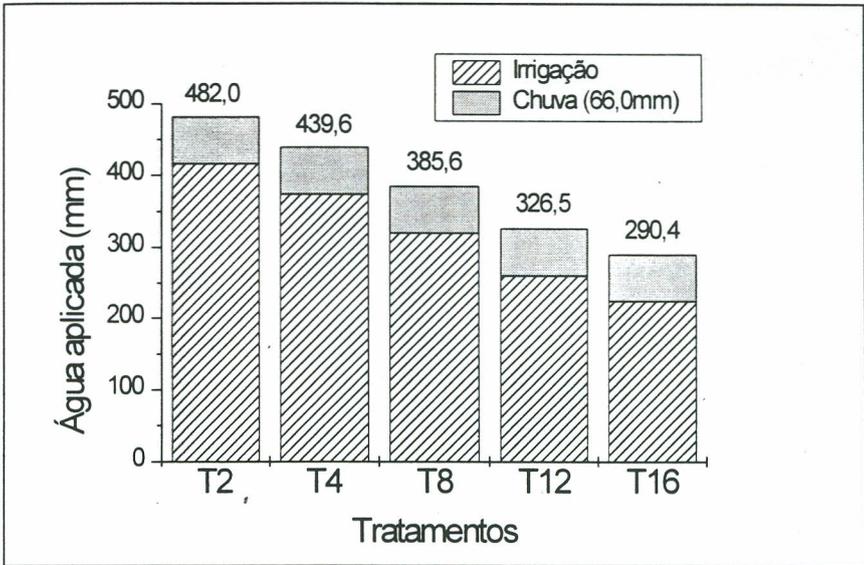


FIGURA 1 - Água total aplicada por tratamentos em cultura de feijoeiro, submetida às freqüências de irrigação de 2 (T2), 4 (T4), 8 (T8), 12 (T12) e 16 dias (T16) (Sete Lagoas, 1995).

$$h_c = \left\{ -62.592 / \left\{ 1 + \exp \left[(dap - 53.015) / 3.3143 \right] \right\} \right\} + 78.255 \quad (r^2 = 0,9924) \quad (2)$$

$$h_c = \left\{ -58.334 / \left\{ 1 + \exp \left[(dap - 52.345) / 2.6430 \right] \right\} \right\} + 74.980 \quad (r^2 = 0,9841) \quad (3)$$

$$h_c = \left\{ -49.057 / \left\{ 1 + \exp \left[(dap - 54.214) / 3.9799 \right] \right\} \right\} + 62.882 \quad (r^2 = 0,9924) \quad (4)$$

$$h_c = \left\{ -49.723 / \left\{ 1 + \exp \left[(dap - 56.043) / 2.2077 \right] \right\} \right\} + 66.342 \quad (r^2 = 0,9730) \quad (5)$$

$$h_c = \left\{ -45.505 / \left\{ 1 + \exp \left[(dap - 55.427) / 2.8541 \right] \right\} \right\} + 60.106 \quad (r^2 = 0,9791) \quad (6)$$

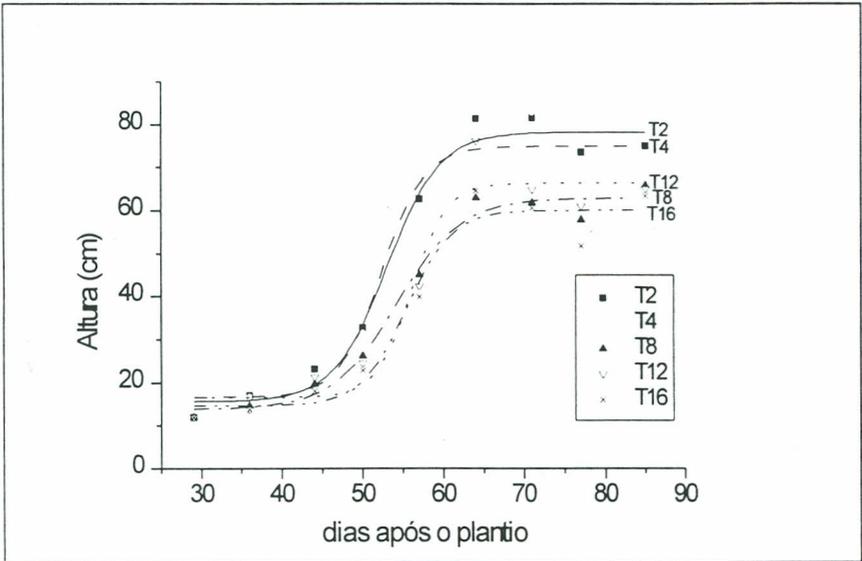


FIGURA 2 - Altura de plantas de feijoeiro, ao longo dos dias após o plantio, para diferentes freqüências de irrigação: 2 (T2), 4 (T4), 8 (T8), 12 (T12) e 16 dias (T16) (Sete Lagoas, 1995).

onde:

- h_c - altura da planta (cm)
- dap - dias após o plantio

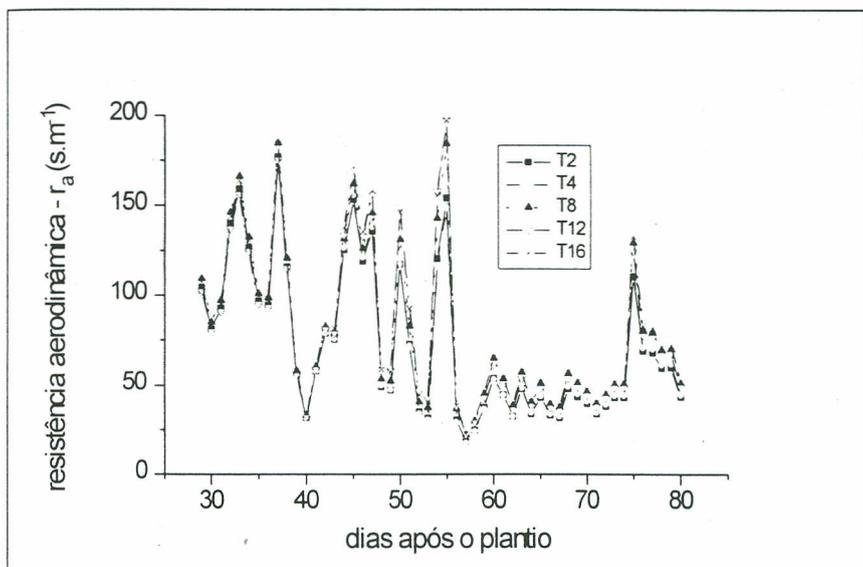


FIGURA 3 - Resistência aerodinâmica (r_a), em relação aos dias após o plantio (dap), em cultura de feijoeiro, submetida às seguintes freqüências de irrigação: 2 (T2), 4 (T4), 8 (T8), 12 (T12) e 16 dias (T16) (Sete Lagoas, 1995).

As alturas máximas estimadas atingidas pela cultura, de acordo com os tratamentos T2, T4, T8, T12 e T16, foram, respectivamente, próximas de 78, 75, 63, 66 e 60cm.

Na Figura 3 estão apresentados os valores diários da resistência aerodinâmica, em função dos dias após o plantio. Sempre foi adotada a altura padrão z igual a 2,0m para as medições de velocidade do vento. As oscilações da r_a estão fortemente ligadas às variações na velocidade do vento, podendo-se observar que velocidades mais baixas induzem maiores valores de r_a e vice-versa. Como se considerou somente a velocidade média diária do vento diurno, obviamente, as diferenças entre os tratamentos se deveram somente à altura da cultura (h_c), com os menores valores de r_a se concentrando mais no final do ciclo da cultura.

Os componentes e alguns parâmetros de produção estão listados no Quadro 1, onde se empregou uma análise de médias dos parâmetros através do teste estatístico de Tukey, num nível de significância de 5% de probabilidade. Observa-se nenhuma diferença significativa entre os tratamentos para número de vagens por planta e altura de inserção da primeira vagem.

QUADRO 1 - Número de vagens por planta, número de sementes por vagem, peso de 1000 sementes, altura de inserção da primeira vagem, índice de colheita e produção de grãos, para diferentes freqüências de irrigação do feijoeiro (Sete Lagoas, 1995).

Freqüência de irrigação (dias)	Número de vagens por planta	Número de sementes por vagem	Peso de 1000 sementes ⁽¹⁾ (g)	Altura de inserção da vagem (cm)	Índice de colheita (IC) ⁽²⁾	Produção de grãos ⁽¹⁾ (kg.ha ⁻¹)
2	11,4 a	4,8 a	239,6 a b	7,4 a	0,55 a	2755 a
4	11,1 a	4,7 a b	245,5 a	7,7 a	0,57 a	2750 a
8	9,5 a	4,0 b	241,6 a b	7,4 a	0,53 a b	2294 a b
12	7,4 a	3,3 c	259,4 a	8,9 a	0,46 b c	1583 b c
16	6,8 a	3,2 c	225,0 b	8,9 a	0,42 c	1057 c
média	9,2	4,0	242,2	8,1	0,51	2088
CV (%)	25,16	7,33	3,73	14,10	5,65	15,44

(1) valores corrigidos para 13% de umidade

(2) IC = massa seca dos grãos/massa seca total (na colheita)

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P = 0.05)

Para índice de colheita (IC) e produção, o comportamento foi idêntico nos tratamentos, apresentando-se nenhuma diferença entre os tratamentos, cujas freqüências de irrigação foram de 2, 4 e 8 dias, assim como não houve diferenças entre 8 e 12 dias e entre 12 e 16 dias. Puderam-se perceber resultados satisfatórios para o tratamento T8, não só para IC e produção, como também para número de sementes por vagem e peso de 1000 sementes. Logicamente, deve-se levar em conta que aí pode estar o limite e qualquer conclusão rápida pode gerar problemas, em função dos erros experimentais. Mas, em princípio, freqüências de irrigação abaixo de 7 dias, muito provavelmente, nas mesmas condições do trabalho realizado, não acarretarão prejuízos à cultura.

Por outro lado, o Quadro 1 também confirma os estresses hídricos observados nos tratamentos T12 e T16, os quais sofreram severos períodos de déficits

hídricos, refletindo negativamente nos parâmetros de produção, que são os de maior interesse econômico de imediato.

Supondo o tratamento T2 como a referência para a produção potencial, as perdas relativas de produção foram de 0,181; 16,7; 42,5 e 61,6% para os tratamentos T4, T8, T12 e T16, respectivamente.

Os valores resultantes do $IEHC_C$ (equação 1) estão apresentados nas Figuras 4 a 7, para os tratamentos T4 a T16, respectivamente, em função dos dias após o plantio. Também, nessas mesmas figuras, estão incluídos os dias e as lâminas de irrigação aplicados.

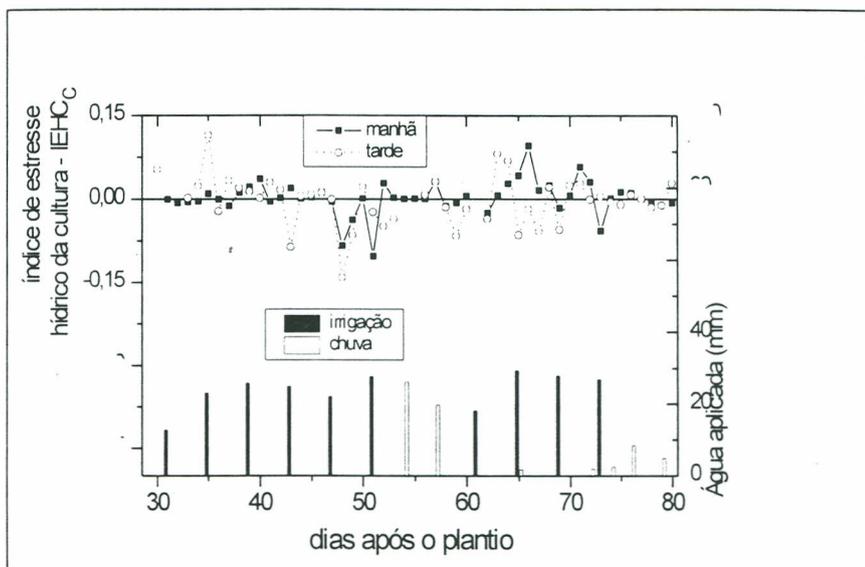


FIGURA 4 - Índice de estresse hídrico da cultura ($IEHC_C$), nos períodos da manhã e da tarde, em relação à frequência de irrigação de 2 dias (T2), e água aplicada, em cultura de feijoeiro, submetida a frequência de irrigação de 4 dias (T4), em função dos dias após o plantio (Sete Lagoas, 1995).

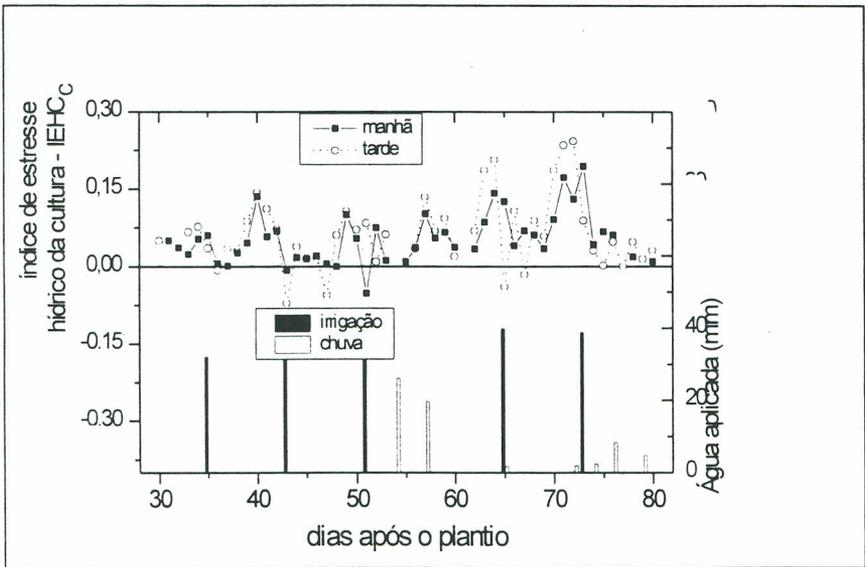


FIGURA 5 - Índice de estresse hídrico da cultura (IEHC_c), nos períodos da manhã e da tarde, em relação à frequência de irrigação de 2 dias (T2), e água aplicada, em cultura de feijoeiro, submetida a frequência de irrigação de 8 dias (T8), em função dos dias após o plantio (Sete Lagoas, 1995).

Observa-se que o tratamento T4 (Figura 4) apresentou as menores oscilações em torno do zero, comprovando o fato de a frequência de irrigação de 4 dias não ter causado estresse hídrico à cultura, fato esse que pode ser verificado também no Quadro 1 quanto à semelhança entre T2 e T4. Essa variação entre esses dois tratamentos pode estar mais relacionada com erros experimentais, sendo que a ocorrência de valores negativos pôde, realmente, significar ligeira evapotranspiração superior ao tratamento T2.

Houve uma tendência dos valores do IEHC_c da manhã acompanharem os da tarde, porém, os valores de pico foram obtidos à tarde. Essa característica de obtenção de maiores amplitudes à tarde leva a pressupor que o melhor período para as medições da temperatura da copa vegetal, por meio do termômetro por infravermelho, visando detecção de estresse hídrico, seja à tarde (entre 13 e 14 horas).

Ainda, as Figuras 4 a 7 evidenciam uma tendência satisfatória do IEHC_c acompanhando os tratamentos, com os seus valores maiores (o máximo próximo de 0,3) ocorridos no tratamento mais estressado (T16 - Figura 7) e vice-versa.

Tendo em vista que o valor máximo do IEHC_c atingido pelo tratamento T4 foi aproximadamente 0,10 e que esse não sofreu estresse hídrico e, ainda, que o

tratamento T8 alcançou esse valor um pouco além de 0.20, sendo que esse poderia ter sofrido déficit hídrico, pode-se especular um valor em torno de 0.15 como um limite além do qual haveria perda significativa na produção da cultura. Essa inferência não está bem comprovada pelo

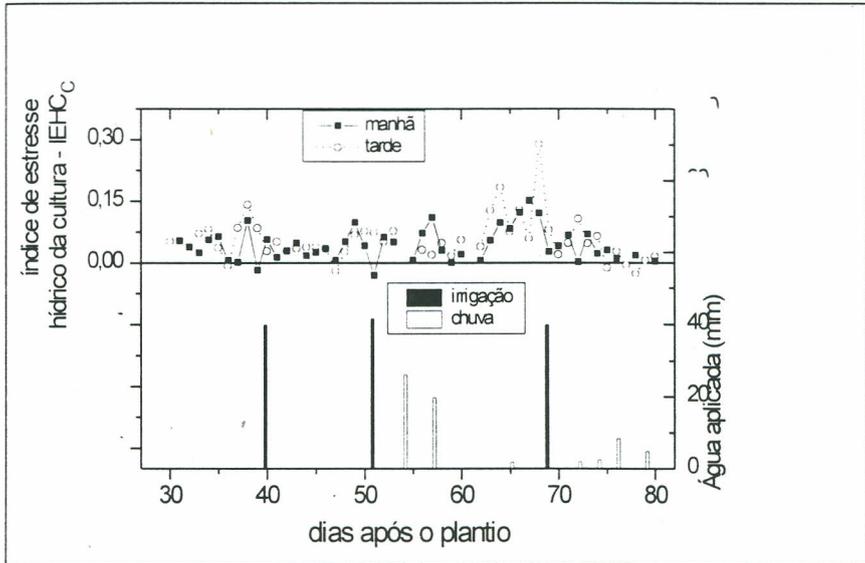


FIGURA 6 - Índice de estresse hídrico da cultura (IEHC_c), nos períodos da manhã e da tarde, em relação à frequência de irrigação de 2 dias (T2), e água aplicada, em cultura de feijoeiro, submetida a frequência de irrigação de 12 dias (T12), em função dos dias após o plantio (Sete Lagoas, 1995).

tratamento T12, o qual se comportou de modo meio atípico, uma vez que seus valores, em determinados períodos, estiveram até abaixo dos mostrados por T8, exceto no período mais ao final do ciclo da cultura (após os 65 dap). As chuvas ocorridas aos 54 e 57 dap e irrigações aplicadas exatamente no período crítico da cultura podem ter concorrido para esse comportamento diferente, como também pode ser verificado pela altura atingida pela cultura (Figura 2). De qualquer modo, comprovou-se, através dos parâmetros de produção, déficit hídrico no tratamento T12 e valores de IEHC_c acima de 0.15, à tarde, na fase reprodutiva da cultura (Figura 6).

Pôde-se observar, dentro das limitações do trabalho, que a metodologia que combina o índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) com a temperatura de estresse diário (TED) é uma técnica muito promissora para programar irrigações de culturas, devendo-se, entretanto, realizar maior número de estudos em diversos locais e culturas, visando ajustes e calibrações dependendo das circunstâncias. Ainda,

deve-se enfatizar a simplicidade da técnica que, em oposição a outros índices, não requer a utilização da resistência da cultura (r_c), que é um parâmetro de relativa dificuldade de obtenção.

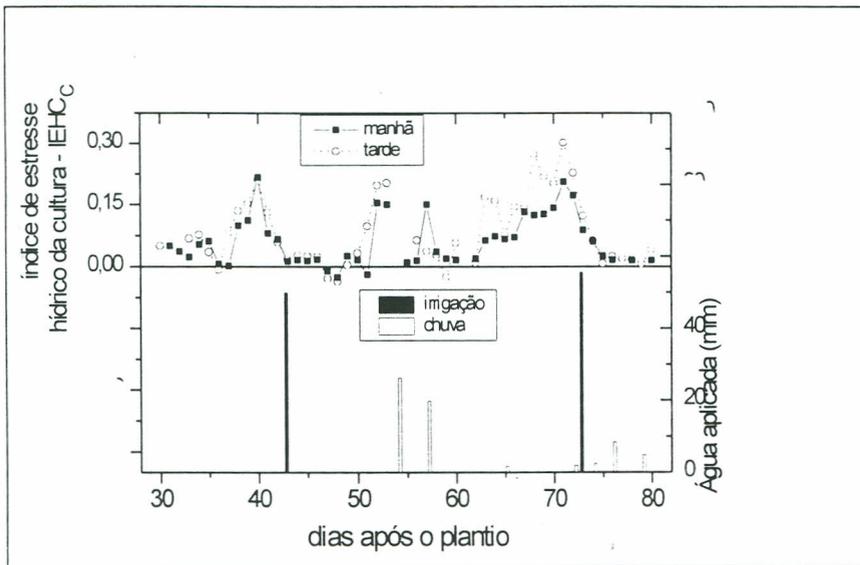


FIGURA 7 - Índice de estresse hídrico da cultura ($IEHC_c$), nos períodos da manhã e da tarde, em relação à frequência de irrigação de 2 dias (T_2), e água aplicada, em cultura de feijoeiro, submetida a frequência de irrigação de 16 dias (T_{16}), em função dos dias após o plantio (Sete Lagoas, 1995).

6 CONCLUSÕES

Nas condições do presente trabalho, pôde-se concluir:

- A maior produção de grãos de feijão ($2755\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi obtida na frequência de irrigação de 2 dias, com perdas de produção relativas a essa frequência de 0.181; 16.7; 42.5 e 61.6% nas frequências de 4, 8, 12 e 16 dias, respectivamente. Não houve diferença significativa entre as frequências de 2, 4 e 8 dias para a produção.
- As lâminas totais de água aplicadas foram de 482.0; 439.6; 385.6; 326.5 e 290.4mm, para as frequências de 2, 4, 8, 12 e 16 dias, respectivamente.

- Os valores do *índice de estresse hídrico da cultura* combinado com a *temperatura de estresse diário* (IEHC_c) estimados para o período da manhã (entre 10 e 11 horas) acompanharam os da tarde (entre 13 e 14 horas), porém, os máximos ocorreram à tarde, sendo esse o período recomendável para as leituras de temperatura da copa vegetal, por meio do termômetro a infravermelho.
- O valor de 0.15 para o IEHC_c pode ser o estipulado como o limite além do qual haverá perda significativa de rendimento da cultura do feijoeiro.
- A técnica do IEHC_c é muito promissora para a programação da irrigação da cultura do feijão, além de ser muito simples, pois não requer estimativa da resistência da cultura (r_c), porém, maior número de estudos deverá ser realizado para ajustes e/ou calibrações.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agron. J.*, v.81, p.650-662, 1989.
- BERLINER, P.; OOSTERHUIS, D.M.; GREEN, G.C. Evaluation of the infrared thermometer as a crop stress detector. *Agric. and For. Meteorol.*, v.31, p.219-230, 1984
- BRAGA, M.B. *Estudo e análise da profundidade efetiva do sistema radicular do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) sob quatro frequências de irrigação*. Viçosa, UFV, 1996. 67p. (Tese de Mestrado).
- CLAWSON, K.L.; JACKSON, R.D.; PINTER JR., P.J. Evaluating plant water stress with canopy temperature differences. *Agron. J.*, v.81, p.858-863, 1989.
- GARDNER, B.R.; BLAD, B.L.; GARRITY, D.P.; WATTS, D.G. Relationships between crop temperature, grain yield, evapotranspiration and phenological development in two hybrids of moisture stressed sorghum. *Irrig. Sci.*, v.2, p.213-224, 1981.
- HOLMAN, J.P. *Experimental methods for engineers*. Singapore: McGraw-Hill, 1989. 549p.
- IDSO, S.B. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agric. Meteorol.*, v.27, p.59-70, 1982.

IDSO, S.B. Stomatal regulation of evaporation from well-watered plant canopies: a new synthesis. *Agric. Meteorol.*, v.29, p.213-217, 1983.

IDSO, S.B., JACKSON, R.D., PINTER JR., P.J., REGINATO, R.G., HATFIELD, J.L. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.*, v.24, p.45-55, 1981.

JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. In: HILLEL, D. (ed.). *Advances in irrigation*. New York: Academic Press, 1982. v.1, p.43-85.

JENSEN, M.E., BURMAN, R.D., ALLEN, R.G. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1990. 332p. (ASCE - Manual and reports on engineering practice, 70).

SANS, I.M.A., AVELAR, B.C. Dados gerais do CNPMS. *Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1992-93*. Sete Lagoas, v.6, p.9-10, 1994.