Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 302
ISSN 1676 - 918X
ISSN online 2176-509X
Fevereiro, 2011

Variáveis Meteorológicas e Estimativas da Evapotranspiração num Cultivo de Soja no Cerrado

Embrapa

ISSN 1676-918X
ISSN online 2176-509X
Fevereiro, 2011

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 302

Variáveis Meteorológicas e Estimativas da Evapotranspiração num Cultivo de Soja no Cerrado

Alexsandra Duarte de Oliveira
Maria Lucia Meirelles
Augusto Cesar Franco

Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2011

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:
Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970 Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
http://www.cpac.embrapa.br
sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade
Presidente: *Claudio Takao Karia*
Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*
Secretária: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbués*
Equipe de revisão: *Francisca Elijani do Nascimento*
Jussara Flores de Oliveira Arbués
Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*
Editoração eletrônica: *Wellington Cavalcanti*
Capa: *Wellington Cavalcanti*
Foto da capa: *Maria Lucia Meirelles*
Impressão e acabamento: *Alexandre Moreira Veloso*
Divino Batista de Souza

1ª edição
1ª impressão (2011): tiragem 100 exemplares
Edição online (2011)

Todos os direitos reservados
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Cerrados

O48v Oliveira, Alexsandra Duarte de

Variáveis meteoroloógicas e estimativas da evapotranspiração num cultivo de soja no cerrado / Alexsandra Duarte de Oliveira, Maria Lucia Meirelles, Augusto Cesar Franco. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2011.

21 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X ; 302).

1. Meteorologia. 2. Evapotranspiração. 3. Soja. 4. Cerrado. I. Meirelles, Maria Lucia. II. Franco, Augusto Cesar. III. Série.

551.5 - CDD-21

© Embrapa 2011

Sumário

Resumo 5
Abstract..... 6
Introdução..... 7
Material e Métodos..... 9
Resultados e Discussão..... 14
Conclusões..... 19
Referências 19

Variáveis Meteorológicas e Estimativas da Evapotranspiração num Cultivo de Soja no Cerrado

Alexsandra Duarte de Oliveira[1]
Maria Lucia Meirelles[2]
Augusto Cesar Franco[3]

Resumo

Os objetivos do presente trabalho foram analisar o comportamento dos elementos meteorológicos diários e estimar a evapotranspiração em um plantio de soja (*Glycine max*., cv. Celeste) no Cerrado durante todo o seu ciclo. O experimento foi conduzido no Núcleo Rural PAD-DF, Planaltina, DF, no período de novembro de 2001 a fevereiro de 2002. A temperatura do ar, umidade relativa do ar, insolação, radiação global, velocidade do vento e precipitação pluviométrica foram medidos por uma Estação Agrometeorológica Automática instalada na área de estudo. O índice de área foliar (IAF) foi obtido a partir da determinação da área foliar verde em planímetro de mesa. Os graus-dias acumulados (GDA) do plantio até a colheita da soja foram determinados a partir das temperaturas máximas, mínimas, base inferior e superior da cultura, que foi considerada como 10 ºC e 35 ºC. A evapotranspiração da cultura foi determinada em função do coeficiente de cultura (Kc) e da evapotranspiração de referência (Eto), que foi estimada pelo método de Penman-Monteith, padrão FAO 56. As temperaturas do ar, mínimas, máximas e médias, variaram de 15,3 ºC a 19,5 ºC; 22,1 ºC a 32,1 ºC e 18,5 ºC a 24,4 ºC, respectivamente. Os valores da umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e velocidade do vento, durante o período experimental, variaram de 43% a 91%, 0 mm/dia a 98 mm/dia e 0,74 $m.s^{-1}$ a 3,09 $m.s^{-1}$, respectivamente. A exigência térmica da soja foi de 1065 GDA para completar o seu ciclo. A evapotranspiração de referência (Eto) somou 367 mm durante todo o ciclo da soja, e a evapotranspiração da cultura chegou a 472 mm.

Termos para indexação: *Glycine max*, graus-dias, variações meteorológicas.

[1] Engenheira-agrônoma, D.Sc., pesquisadora da Embrapa Cerrados, alexsandra.duarte@embrapa.br
[2] Bióloga, Ph.D., pesquisadora da Embrapa Cerrados, maria.meirelles@embrapa.br
[3] Bacharel em ecologia, Ph.D., professor da UnB, acfranco@unb.br

Weather Variables and Estimation in Evapotranspiration Cultivation of Soybean in Cerrado

Abstract

The objectives of this study were to analyze the behavior of daily weather elements, to estimate the daily evapotranspiration in a planting of soybean (Glycine Max Cv. Celeste) in Savannah site of Central Brazil. The experiment was conducted in the rural center PAD-DF, Planaltina, DF, in the period from November 2001 to February 2002. The air temperature, relative humidity, sunshine, global radiation, wind speed and rainfall were measured by an automatic weather station installed in the study area. The leaf area index (LAI) was obtained from estimates of green leaf area with a planimeter table. The accumulated degree days (GDA) from planting to harvest were determined from maximum temperature, minimum, upper and lower base of culture, which was considered as 10 ºC and 35 ºC. Crop evapotranspiration was determined by the crop coefficient (Kc) and reference evapotranspiration (ETo) calculated by the Penman-Monteith method, FAO 56. Air temperatures, minimum, maximum and average ranged from 15.3 to 19.5 ºC , 22.1 ºC to 32.1 ºC and 18.5 ºC to 24.4 ºC , respectively. The values of relative humidity, rainfall and wind speed during the experimental period ranged from 43% to 91%, 0 mm dia-1 to 98 mm dia-1 and from 0.74 ms-1 to 3.09 ms-1, respectively. The thermal demand of soybeans was 1065 GDA to complete its cycle. The reference evapotranspiration (Eto) totaled 367 mm during the entire cycle, while crop evapotranspiration reached 472 mm.

Index terms: Glycine max, degree days, weather variations.

Introdução

A produção mundial da soja é de cerca de 200 milhões de toneladas. A área ocupada por essa cultura no mundo é de aproximadamente 87,8 milhões de hectares. Os cinco maiores produtores são responsáveis por 90% da produção mundial: EUA, Brasil, Argentina, China e Índia. O Brasil é o segundo maior produtor, respondendo por quase 25% do total mundial. A soja é uma cultura de grande interesse econômico no agronegócio brasileiro, por gerar recursos financeiros à cadeia produtiva, fomentar empregos, propiciar um dinâmico fluxo de bens e serviços, além de demandar suporte técnico-científico para aumentar a precisão na agricultura (MARTORANO, 2007). O complexo agroindustrial da soja no Brasil movimenta aproximadamente US$ 6 bilhões e ocupa uma área de 22 milhões de ha. A safra estimada de grãos do país para o ano de 2010 aumentou em aproximadamente 11%, quando comparada a de 2009. A soja apresentou o maior acréscimo na produção, em torno de 20,2%, sendo a Região Centro-oeste responsável por 52,3 milhões de toneladas, com incremento da ordem de 7,1% (IBGE, 2011). A contribuição da cultura de soja no Cerrado tem sido determinante para a posição alcançada pelo Brasil em relação à exportação desse produto (ROESSING; GUEDES, 1993).

Cada cultura responde de forma diferenciada às condições ambientais de acordo com o seu potencial genético. Durante o ciclo, a cultura é submetida a condições meteorológicas que podem ser favoráveis ou adversas, interferindo em processos relacionados ao crescimento e desenvolvimento, refletindo na sua produtividade final (FONTANA et al., 2001). Para obtenção do máximo rendimento, a necessidade total de água na cultura da soja varia entre 450 mm/ciclo a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. A necessidade de água na cultura vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos (7 mm/dia a 8 mm/dia), decrescendo após esse período (TECNOLOGIAS..., 2006).

O método de Penman-Monteith é recomendado pela FAO como padrão para estimativas da evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos (ALLEN et al., 1998). Embora seja um método complexo, concilia os aspectos aerodinâmico e termodinâmico, incluindo a resistência ao transporte de calor sensível e de vapor d'água (r_a) e a resistência da superfície à transferência de vapor d'água (r_c), fatores que nenhum outro método leva em consideração e que proporcionam melhor precisão na estimativa da evapotranspiração (OLIVEIRA, 2003). Nas condições brasileiras, este modelo, nas suas diferentes versões, tem sido muito utilizado para determinação da ETo, como pode ser visto em Sediyama (1988), Peres e Scardua (1991), Oliveira (2003). Valores de evapotranspiração da cultura (Etc) e coeficiente de cultura (Kc) variam conforme a disponibilidade energética do local, solo, sistema de preparo/plantio, densidade, variedade e idade da planta. Para determinação de (Etc) em plantio de soja no Cerrado, é de fundamental importância a utilização de Kcs regionalizados (GUERRA et al., 2005). A quantificação de água utilizada por plantios de soja no Cerrado e sua relação com elementos meteorológicos são importantes dados para estudos do uso da água desta cultura e planejamento do manejo de irrigação.

A soja cultivada (*Glycine max*) é uma planta herbácea anual classificada em grupos de maturação, determinados pelo ciclo de vida que pode variar de 70 a 180 dias, contados da emergência até a maturação. Esses grupos geralmente são denominados como precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio. No entanto, em número de dias, esses grupos não são concordantes entre cultivares e entre as diversas regiões de adaptação, ou seja, uma mesma cultivar pode atingir diferentes ciclos conforme as condições de manejo e, principalmente, as condições edáficas e climáticas entre regiões distintas, segundo as cultivares inscritas no Registro Nacional de Cultivares (EMBRAPA SOJA, 2002).

A temperatura é um elemento meteorológico diretamente relacionado ao desenvolvimento, à maturação e à produção eficiente da cultura. Para todas as plantas, observa-se uma tolerância em relação às temperaturas cardeais (BONHOMME, 2000). Apesar das limitações do fator térmico, muitos trabalhos justificam que a temperatura é a variável que melhor

explica estatisticamente a duração fenológica das plantas (YANG et al., 1995). Os valores ideais de temperatura do ar para o crescimento e desenvolvimento da soja são em torno de 30 ºC, mostrando efeitos adversos quando submetida a temperaturas acima de 40 ºC (FARIAS et al., 2007). O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo a temperaturas menores ou iguais a 10 ºC, coincidindo com trabalhos que apresentam esse valor como temperatura base para soja no Brasil (FARIAS et al., 2007).

Um dos métodos utilizados para relacionar a temperatura do ar e o desenvolvimento vegetal é o de graus-dias acumulados (GDA), que se baseia na premissa de que uma planta necessita de certa quantidade de energia, representada pelos GDA, para atingir determinada fase fenológica ou seu ciclo total (BRUNINI et al., 1976). A relação funcional entre o crescimento e o desenvolvimento relativo, em termos de graus-dias, fenologia e variação temporal do índice de área foliar, tem sido comumente utilizada para essa finalidade (DOURADO NETO, 1999). Com base no exposto, os objetivos do presente trabalho foram analisar o comportamento dos elementos meteorológicos diários e estimar a evapotranspiração em um plantio de soja (*Glycine max* cv. Celeste) no Cerrado durante todo o seu ciclo.

Material e Métodos

A área de estudo correspondia a uma plantação de soja, de ciclo tardio (*Glycine max* cv. Celeste) não irrigada, de aproximadamente 500 ha localizada no Núcleo Rural PAD-DF, a 16º01´31´´S, 47º47´01´´W e 1.071 m de altitude em Latossolo, textura muito argilosa. De acordo com Silva et al. (2008), o clima da região é do tipo Aw na classificação de Köppen. O plantio foi realizado em 1/11/2001 durante a estação chuvosa, e as medições tomadas durante todo o ciclo da cultura. Realizou-se a medição da altura e posterior corte raso de 10 pés escolhidos aleatoriamente durante o período de estudo. O índice de área foliar (IAF) foi calculado a partir da obtenção da área foliar verde em planímetro de mesa. O material vegetal foi separado em vivo e morto, pesado, antes e após a secagem, para obtenção da massa seca.

Foi instalado, no centro da área experimental, um mastro (modelo CM6 – marca Campbell), com uma Estação Agrometeorológica Automática (EAA) que possuía sensores de velocidade (014A – Met One) e direção do vento (024A – Met One); saldo de radiação (Q7–REBS); radiação global (CM3–Kipp & Zonen); temperatura e umidade do ar (HMP45C–Vaisala); fluxo de calor do solo (HFT3–REBS); temperatura (TCAV–Campbell) e umidade do solo (CS615-Campbell) alimentados por painéis solares. Esses sensores estavam acoplados a um sistema de aquisição de dados (Micrologger 23X-Campbell), que eram coletados a cada minuto e armazenadas as médias de 30 minutos. Semanalmente os dados eram recolhidos por meio de um módulo de armazenagem (SM192 – Campbell).

Os graus-dias acumulados (GDA) do plantio até a colheita da soja foram determinados utilizando uma planilha eletrônica do Excel, a partir do estudo de caso entre temperaturas máximas, mínimas, base inferior e superior da cultura, que foi considerada como 10 °C e 35 °C (FARIAS et al., 2007), e utilizadas de acordo com equações propostas por Villa Nova et al. (1972).

CASO I – dias em que $tN > tI$ e $tX < tS$

$$GD = \frac{(tN - tI) + (tX - tN)}{2}$$

CASO II – dias em que $tN \leq tI$ e $tX < Ts$

$$GD = \frac{(tX - tI)^2}{2\,(tX - tN)}$$

CASO III – dias em que $tN > tI$ e $tX > tS$

$$GD = \frac{(tX - tI) + (tX - tN)}{2} - \frac{(tX - tS)^2}{2\,(tX - tN)}$$

CASO IV – dias em que $tN \leq tI$ e $tX > tS$

$$GD = \frac{(tX - tI)^2}{2\,(tX - tN)} - \frac{(tX - tS)^2}{2\,(tX - tN)}$$

em que:

GD – grau-dia acumulado desde o plantio até a colheita, em °C dia.

tN – temperatura mínima do dia.

tX – temperatura máxima do dia.

tI – temperatura basal inferior da cultura, em °C.

tS – temperatura basal superior da cultura, em °C.

Para o cálculo da evapotranspiração de referência diária (Eto), foi utilizado o método de Penman-Monteith, indicado como padrão pela FAO, segundo metodologia descrita em Allen et al. (1998), representado pela seguinte equação:

$$ETo = \frac{0{,}408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + (1 + 0{,}34\,u_2)} \qquad (1)$$

em que:

ETo – evapotranspiração de referência [mm dia^{-1}].

R_n – saldo de radiação à superfície [MJ m^{-2} dia^{-1}].

G – fluxo de calor no solo [MJ m^{-2} d^{-1}], G = 0.

T – temperatura média do ar a uma altura de 2m [°C].

u_2 – velocidade do vento a 2m de altura [m s^{-1}].

$(e_s - e_a)$ – déficit de pressão de saturação de vapor [kPa].

e_s – pressão de saturação de vapor [kPa].

e_a – pressão atual de vapor [kPa].

Δ – declividade da curva de pressão de saturação de vapor [kPa °C^{-1}].

γ – constante psicrométrica [kPa °C^{-1}].

900 – fator de conversão [kJ^{-1} kg K].

A declividade da curva de pressão de vapor (Δ) para a temperatura média do ar, em kPa °C^{-1}, é dada por:

$$\Delta = \frac{4098\left[0{,}6108\exp\left(\frac{17{,}27T}{T+237{,}3}\right)\right]}{[T+237{,}3]^2} \quad (2)$$

Sendo, T a temperatura média diária, em °C.

O coeficiente psicrométrico (γ) em kPa °C^{-1} é dado por:

$$\gamma = A \times P \quad (3)$$

em que:

A – coeficiente para psicrômetro com ventilação natural (80 x 10^{-5} °C^{-1}).

P – pressão atmosférica [kPa].

Pressão de saturação de vapor (e_s):

$$e_s = 0{,}6108\exp\left[\frac{17{,}27T}{T+237{,}3}\right] \quad (4)$$

em que:

e_s – pressão de saturação de vapor [kPa].

T – temperatura do ar [°C].

Pressão atual de vapor (e_a):

$$e_a = \frac{UR \cdot e_s}{100} \quad (5)$$

em que:

e_a - pressão atual de vapor [kPa].

e_s - pressão de saturação de vapor [kPa].

UR - umidade relativa do ar [%].

No cálculo dos parâmetros usados na estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith, foram utilizados os procedimentos apresentados por Allen et al. (1998). Nesse caso, considera-se a $r_c = 70$ s m^{-1} e assume-se como constante a altura da cultura hc = 0,12 m e padroniza-se a altura da velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa do ar a 2 m. A resistência aerodinâmica (s m^{-1}) é dada por:

$$ra = \frac{208}{u_2} \quad (6)$$

em que:

u_2 é a velocidade do vento medida na altura de 2 m, em m s^{-1}.

Os valores de coeficientes de cultura (kc) utilizados foram calculados por Guerra et al. (2005), a partir da evapotranspiração medida em lisímetros de pesagens cultivada com uma cultivar de soja de ciclo tardio no Cerrado, Planaltina, DF). Para obtenção da evapotranspiração da cultura (Etc), foi utilizada a seguinte equação:

$$Etc = Kc \cdot Eto \quad (7)$$

em que:

Etc – evapotranspiração da cultura, mm.dia^{-1}.

Kc – coeficiente da cultura.

Eto – evapotranspiração de referência, mm.dia^{-1}.

Resultados e Discussão

As temperaturas do ar, mínimas (Tmin), máximas (Tmax) e médias (Tmed), variaram de 15,3 ºC a 19,5 ºC, 22,1 ºC a 32,1 ºC e 18,5 ºC a 24,4 ºC, respectivamente (Figura 1). Durante o início do florescimento da cultura, aos 68 dias após o plantio (DAP), a temperatura começou a aumentar e atingiu o valor máximo de 32,1 ºC aos 116 DAP, período após o enchimento de grãos e com leve maturação. Esses valores mostram que a temperatura máxima, durante a maior parte do ciclo, não propiciou condições adversas ao seu crescimento e desenvolvimento, cujo valor ótimo de temperatura, segundo Farias et al. (2007), está em torno de 30 ºC, com feitos adversos somente em temperaturas acima de 40 ºC.

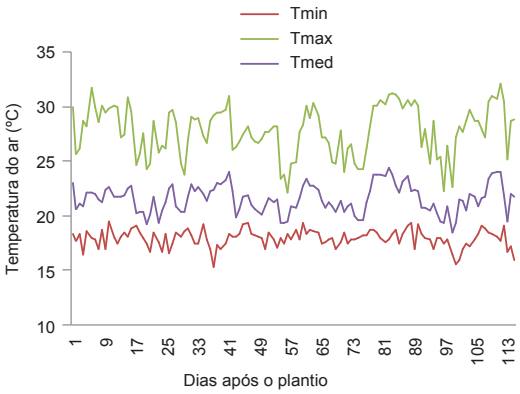

Figura 1.Variação diária das temperaturas mínima (Tmin), máxima (Tmax) e média (Tmed) em ºC, durante o ciclo da soja, em Planaltina, DF.

Os valores da umidade relativa do ar (Ur med), precipitação pluviométrica (prec) e velocidade do vento, durante o período experimental, variaram de 43% a 91%, 0 mm a 98 mm, 0,74 m.s^{-1} a 3,09 m.s^{-1}, respectivamente (Figura 2). Os valores extremos de velocidade do vento foram observados aos 31 e 109 (DAP) respectivamente, e a umidade relativa aos 79 e 43 (DAP), tendência esta também observada por Costa et al. (2007).

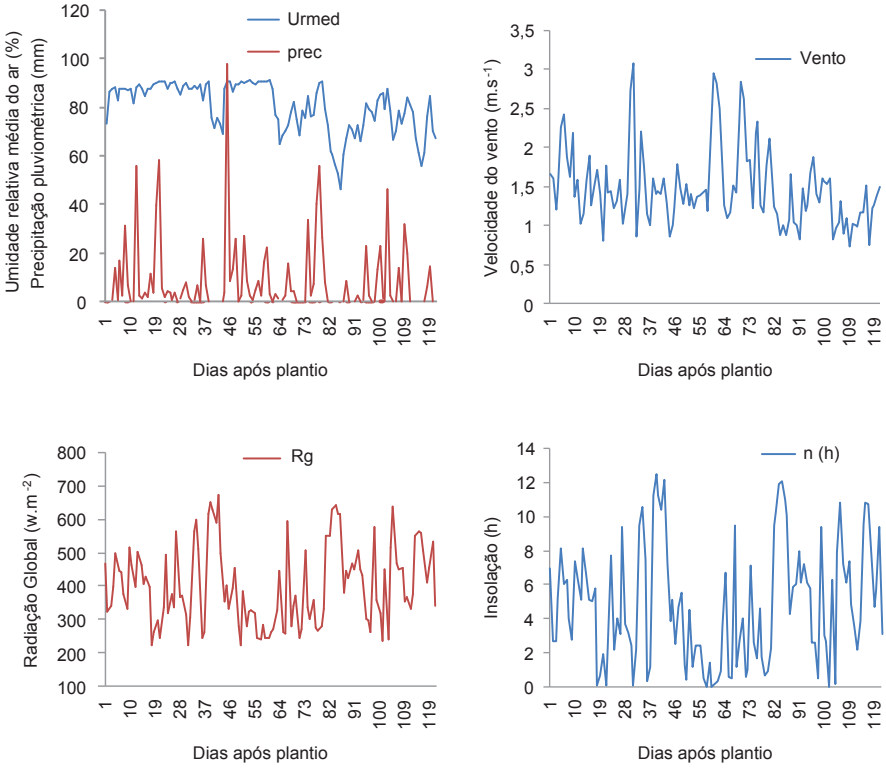

Figura 2. Variação diária da umidade relativa do ar (Ur med) em %, precipitação pluviométrica (prec) em mm, velocidade do vento (vento) em m.s^{-1}, radiação solar global (Rg) em w.m^{-2} e insolação (n) em número de horas, durante o ciclo de um plantio de soja no Cerrado, em Planaltina, DF.

A radiação solar global disponível foi adequada à cultura, variando de 220 w.m^{-2} a 675 w.m^{-2}, com uma insolação máxima diária de

12,5 horas, num total de 580 horas de brilho solar para o período experimental (Figura 2). Segundo Rodrigues et al. (2001), algumas cultivares de soja mostram-se sensíveis a fotoperíodos longos (> 13 horas) e têm como fotoperíodo ótimo em torno de 9 horas, embora este ótimo possa variar de acordo com a temperatura.

A disponibilidade térmica no período estudado foi superior a 2.500 °C, apresentando-se totalmente favorável ao cultivo. Na Tabela 1, apresentam-se os valores de graus-dias acumulados para cada subperíodo, sendo obtido do plantio à floração cerca de 600 graus-dias, num período de 68 dias, concordando com Wilkerson et al. (1989), que sugerem que cultivares de ciclo tardio florescem em dias curtos, enquanto, do plantio até a colheita, a exigência térmica foi de 1065 GDA para um ciclo de 120 dias. Segundo Souza et al. (2007), trabalhando com soja, na Região Amazônica, foram necessários cerca de 455 graus-dias até o florescimento e, para a colheita, a soja apresentou exigência térmica entre 1.185 graus-dias e 1.227 graus-dias, pouco superior a encontrada neste trabalho. Toledo et al. (2010) obtiveram valores mais elevados para soja, com exigências variando entre 811 e 1.200 GDA, desde a semeadura até a maturação fisiológica para uma cultura de soja no Rio Grande do Sul, porém deve-se ressaltar a utilização de uma outra metodologia, a qual se utiliza a temperatura média.

Tabela 1. Graus-dias acumulados e número de dias correspondente para cada subperíodo da soja, cultivar Celeste, em Planaltina-DF.

Subperíodo	GDA	DAP
Plantio-floração	600	68
Floração-frutificação	215	24
Frutificação-colheita	250,2	28
Total	1.065,2	120

Na Figura 3, relacionam-se dias após o plantio com graus dias acumulados (GDA) e IAF da cultura da soja. No IAF, observou-se um decréscimo no crescimento da planta após atingir 5,2 (valor máximo) aos 96 dias após o plantio, devido ao início da senescência da cultura, resultado semelhante ao encontrado por Toledo et al. (2010), que também foi superior a 5,0 para a cultura da soja. Segundo Fontana et al. (2001), culturas como soja e milho apresentam alta correlação entre variáveis meteorológicas e variáveis de crescimento e desenvolvimento.

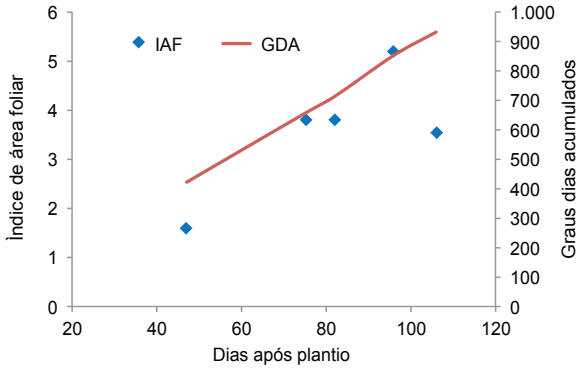

Figura 3. Índice de área foliar e graus dias acumulados em função do número de dias após o plantio da soja, em Planaltina, DF.

O comportamento da curva de IAF estimada em função dos graus dia acumulados em cada período de desenvolvimento estimado pela soma térmica está de acordo com as variações observadas de IAF até a fase final de enchimento de grãos e maturação (aproximadamente 105 dias); as variáveis estudadas (IAF e GDA) apresentam boa correlação ($R^2 = 0,60$) e sugerem uma tendência crescente, porém não foram significativos quando testados modelos lineares e quadráticos que, segundo Rodrigues et al. (2001), são bastante utilizados para entender a influência dos fatores do ambiente no seu desenvolvimento. É possível verificar que houve um crescimento no índice de área foliar até próximo aos 850 GDA com posterior decréscimo justificado pela senescência foliar. Para que se possam utilizar modelos de crescimento, é premissa essencial que haja um maior número de pontos medidos e bem distribuídos ao longo do ciclo.

A estimativa da evapotranspiração de referência diária pelo método de Penman-Monteith e da evapotranspiração da cultura, utilizando-se dados da EAA, são apresentadas na Figura 4. As equações de Angstron (para obtenção da radiação solar global) e Brunt (para o balanço de ondas longas) foram utilizadas na obtenção do saldo de radiação, com os coeficientes a = 0,2795 e b = 0,45966 já determinados para a localidade por Silva et al. (1997). A evapotranspiração de referência (Eto) durante todo o ciclo da soja somou 367 mm, com média diária de 3,1 mm; a Etc do ciclo total da cultura foi de 472 mm, com média diária de 3,9 mm e a precipitação pluviométrica total no período foi de 543 mm, com uma concentração de chuvas maiores até a floração-frutificação (466 mm), com posterior decréscimo.

Na Figura 4, é possível observar que a Eto diária máxima e mínima foram de 4,4 mm e 2,0 mm e ocorreram aos 42 e 103 (DAP), respectivamente. Já a Etc máxima (6,4 mm) aconteceu no início da floração, com um índice de área foliar de 3,8. O maior acréscimo de Etc no final do ciclo da soja é explicado pela senescência dessa cultura após este período; esse tipo de comportamento também foi verificado por Silva et al. (2009).

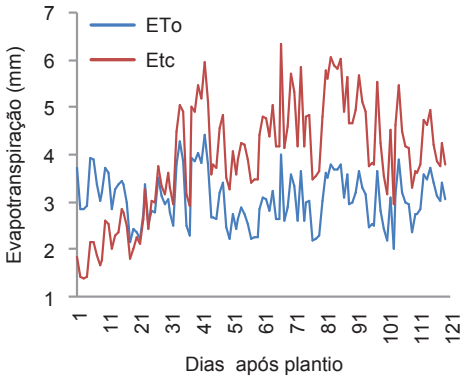

Figura 4. Evapotranspiração de referência (Eto) e da cultura (Etc) em mm.dia^{-1} durante o ciclo de um plantio de soja no Cerrado (Planaltina, DF).

Conclusões

Constatou-se que a localidade onde foi conduzido este estudo apresentou disponibilidade térmica adequada ao bom desenvolvimento da cultura da soja. A soja, cultivar Celeste, de ciclo tardio, completou seu ciclo em GDA de aproximadamente 1065 graus-dia, sendo cerca de 60% deste valor no período até a floração.

O índice de área foliar apresentou uma boa correlação com os graus-dias, porém o número de pontos medidos não foi capaz de estimar uma função dos GDA.

Em um cultivo de soja não irrigada no Cerrado, na época chuvosa e com cultivar tardio, as condições de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento não prejudicaram o desenvolvimento da cultura, mas elementos como radiação solar global e insolação merecem cautela e mais investigação por poder limitar o crescimento e o desenvolvimento dessa cultura. Neste período, a maior demanda evapotranspirativa diária foi de 6,4 mm, sendo a chuva desse período capaz de suprir esta necessidade.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

BONHOMME, R. Bases and limits to using 'degree day' units. **European Journal of Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2000.

BRUNINI, O.; LISBÃO, R. S.; BERNARDI, J. B.; FORNASIER, J. B.; PEDRO JUNIOR, M. J. Temperatura base para alface "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, v. 85, n. 19, p. 214-219, 1976.

COSTA, C. T. S.; TEODORO, I.; SOUZA, J. L. de; JUNIOR, R. A. F.; SANTOS, M. A. dos. Variação dos elementos meteorológicos durante o cultivo do feijoeiro na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Efeito das mudanças climáticas na agricultura:** anais. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 1 CD-ROM.

DOURADO NETO, D. **Modelos fitotécnicos referentes à cultura de milho.** 1999. 227 f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja**: região Central do Brasil, 2001. Londrina: Embrapa Soja, 2002. 199 p.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 48).

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; LAUSCHNER, M. H.; MELLO, R. W. de. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, mar. 2001.

GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C.; SOUZA, P. I. de M. de. **Método do Tanque Classe A para irrigação da soja, cultivar Sambaíba, no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 3 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 120).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201011comentarios.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2011.

MARTORANO, L. G. **Padrões de resposta da soja a condições hídricas do sistema solo-planta-atmosfera, observados no campo e simulados no sistema de suporte à decisão DSSAT**. 2007. 151 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

OLIVEIRA, A. D. de. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência utilizando dados de estação meteorológica convencional e automática**. 2003. 70 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

PERES, J. G.; SCARDUA, R. Estudos de métodos agroclimatológicos para estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ETo), segundo DOORENBOS & PRUITT. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 46-63, 1991.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLY, P. F.; LUZ, J. S. da. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, mar. 2001.

ROESSING, A. C.; GUEDES, L. C. A. Aspectos econômicos do complexo soja: sua participação na economia brasileira e evolução na região do Brasil Central. In: ARANTE, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Ed.). **Cultura de soja nos Cerrados.** Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 1-69.

SEDIYAMA, G. C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília, DF: ABEAS, 1988. 143 p. Curso de Engenharia da Irrigação. Módulo 4.

SILVA, S. C. da; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; GOMES, M. P.; RIBEIRO, J. R. Coeficientes de cultura para o milho e o arroz de terras altas consorciados com braquiária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável:** [trabalhos apresentados.]. Viçosa, MG: UFV; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 1 CD-ROM.

SILVA, F. A. M. da; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado:** ecologia e flora. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. cap. 3, p. 71-88.

SILVA, C. R. da; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, T. J. A. da; FOLEGATTI, M. V.; CAMPECHE, L. F. de S. M. Variação sazonal na evapotranspiração de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti'. **Irriga**, v. 11, n. 1, p. 2635, 2006.

SILVA, F. A. M. da; ASSAD, E. D.; GOMES, A. C.; EVANGELISTA, B. A. Estudo da radiação solar na região do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. **Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável:** anais. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: ESALQ, 1997. p. 425-427.

SOUZA, P. J. O. P.; ABREU, P. M. M.; ROCHA, E. J. P. da; RIBEIRO, A. Exigência térmica da soja nas condições climáticas da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. **Efeito das mudanças climáticas na agricultura:** anais. Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 1 CD-ROM.

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SOJA – região central do Brasil – 2007. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006b. 225 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 11).

TOLEDO, N. T.; MULLER, A. G.; BERTO, J. L.; MALMANN, C. E. S. Ajuste do modelo fototérmico de estimativa do desenvolvimento e do índice de área foliar de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, mar. 2010.

WILKERSON, G. G.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; BUOL, G. S. Photoperiodically sensitive interval in time to flower of soybean. **Crop Science,** Madison, v. 29, p. 721-726, 1989.

YANG, S.; LOGAN, J.; COFFEY, D. L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree-days. **Agricultural and Forest Meteorology,** v. 74, p. 61-74, 1995.

VILLA NOVA, N. A.; PEDRO JUNIOR, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. Estimativa de graus-dias acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima. **Caderno de ciências da terra**, v. 30, p. 1-8, 1972.