



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JONATHAS BRITO DA SILVA

**ANÁLISE DE ESTRESSE NA CULTURA DE SOJA CAUSADO POR FATORES
AMBIENTAIS**

**GEOCIÊNCIAS
UFPA**

267

**BELÉM – PARÁ
DEZEMBRO – 2010**

JONATHAS BRITO DA SILVA

**ANÁLISE DE ESTRESSE NA CULTURA DE SOJA CAUSADO POR FATORES
AMBIENTAIS**

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia
Orientador: José de Paulo Rocha da Costa.

BELÉM- PARÁ
DEZEMBRO-2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

S586a Silva, Jonathas Brito da

Análise de estresse na cultura de soja causado por fatores ambientais / Jonathas Brito da Silva; Orientador: José de Paulo Rocha da Costa – 2010

33 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Soja- cultivo. 2. Estresse hídrico. 3. Fronteira agrícola. I. Costa, José de Paulo Rocha da, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20° ed.: 633.34

JONATHAS BRITO DA SILVA

**ANÁLISE DE ESTRESSE NA CULTURA DE SOJA CAUSADO POR FATORES
AMBIENTAIS**

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

APROVADO em _____ Dezembro de 2010

Comissão Examinadora:

Prof. José de Paulo Rocha da Costa - Orientador
Doutor em Meteorologia Agrícola
Faculdade de Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Hernani José Brazão Rodrigues - Membro
Doutor em Meteorologia Agrícola
Faculdade de Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Maria do Carmo Felipe de Oliveira -Membro
Mestre em Meteorologia Agrícola
Faculdade de Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Dedico em primeiro lugar a Deus (YHWH) que andou de mãos dadas comigo do início ao fim, mesmo eu não merecendo, a minha mãe Vera Rute Brito da Silva que sempre me incentivou desde o começo a entrar na universidade e muitas outras coisas mais, a minha família que inclui algumas tias como Heleide (financeiramente), Edna a “Keka” e a Zila, tio Zé Luiz (financeiramente). Aos meus irmãos e minhas avós Elza e já falecida Raimunda, sem contar alguns amigos uma em particular foi a Andretta. A todos eles sou grato.

AGRADECIMENTOS

- A Deus (YHWH), por estar sempre comigo me orientando e abençoando muito, por dar-me a oportunidade de caminhar no seu caminho
- A minha mãe, pelos seus esforços e conselhos, que serviram para eu chegar até aqui.
- A Universidade Federal do Pará (UFPA), pela oportunidade em realizar o curso de graduação em Meteorologia.
- Ao Professor Dr. José de Paulo, pela orientação, apoio e confiança depositada.
- Aos professores e colegas de curso de graduação em Meteorologia, pelo tempo de convívio, mesmo eu não sendo muito participativo no que se refere a assunto extraclasse.
- As tias Eleide pelo apoio financeiro, Keka (Edna) pelas “caronas” que me pouparam tempo e muitas outras coisas mais, Zila por passar minhas roupas e o meu tio Zé Luiz pelo apoio financeiro.
- As minhas avós Elza que me permite viver em sua casa e a já falecida Raimunda que me apoiava financeiramente.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo, analisar a condição de estresse na cultura de soja, associada com fatores ambientais e fisiológicos da planta. Os dados foram coletados em experimento de campo durante o cultivo da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill, BRS) cultivar Tracajá, semeada em solo classificado como, Latossolo Amarelo Argiloso de textura variando de franco-arenosa a muito argilosa, no período de 24 de fevereiro a 17 de junho de 2007. O experimento foi realizado em área de produção comercial de soja, com aproximadamente 200 hectares, situada no Município de Paragominas (02^o 38' S; 046^o 27' W), mesorregião do nordeste do Estado do Pará. O clima predominante da região é do tipo Aw segundo a classificação de Koëppen. A condição de estresse na cultura foi analisada através de três métodos aqui denominados: Método da diferença de temperatura dossel-ar (MDT), Método evaporativo (MEV) e Método do coeficiente de cultivo (MKc). O resultado do desempenho de todos os métodos mostrou que a condição de estresse na cultura não existiu quando as análises de valores se fizeram na escala diária. Entretanto, quando se analisou na escala horária, o desempenho do MDT (único que permitia) em dias típicos (seco e chuvoso), dentro das fases inicial, intermediária e final da estação de cultivo, verificou-se que as plantas atingiram um alto nível de estresse, principalmente na fase inicial de cultivo em dia seco. Nos outros dias analisados, também se constatou que havia condição de estresse às plantas, porém em nível que variou de leve a moderado.

Palavras – chaves: Soja-cultivo. Estresse hídrico. Fronteira agrícola.

ABSTRACT

This study analyzed the condition of stress in soybean associated with environmental factors and physiological plant. Data were collected in a field experiment during the cultivation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill, BRS) Tracajá cultivar sown in a soil classified as Typic Clayey texture ranging from sandy loam to heavy clay, from February 24 to June 17, 2007. The experiment was conducted at the commercial production of soybeans, with about 200 hectares in the of Paragominas municipality (020 38 'S; 0460 27' W), middle region of the northeastern state of Para. The climate of the region is of type Aw according to the classification of Koeppen. The stress condition in the culture was analyzed by three methods that we call: Canopy-air temperature difference method (MDT), Evaporative method (MEV) and Crop coefficient method (MKC). The result of the performance of all methods showed that the stress condition in the culture did not exist when the analysis was made in the daily scale. However, when examined in the hourly scale, the performance of MDT (only one allowed) on a typical day (dry and rainy), the phases beginning, middle and end of growing season, it was found that the plants reached a high level stress, especially at the initial stage of cultivation in dry day. On the other days analyzed, also found that there was stress condition the plants, but at level ranged from mild to moderate

Key - words: Soybean-cultivation. Water stress. Agricultural frontier.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO NA SOJA.....	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
4	MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1	ÁREA DE ESTUDO	18
4.2	DADOS	19
4.3	METODOLOGIA	20
4.3.1	MÉTODO DA DIFERENÇA DE TEMPERATURA DOSSEL-AR (MDT).....	20
4.3.2	MÉTODO EVAPORATIVO (MEV).....	21
4.3.3	MÉTODO DO COEFICIENTE DE CULTURA (MK _c).....	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
5.1	CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS.....	22
5.2	ANÁLISES DO ESTRESSE HÍDRICO.....	23
5.2.1	MÉTODO DA DIFERENÇA DE TEMPERATURA DOSSEL-AR (MDT)	23
5.2.2	MÉTODO EVAPORATIVO (MEV).....	27
5.2.3	MÉTODO DO COEFICIENTE DE CULTURA (MK _c).....	28
6	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

O progresso científico e tecnológico verificado nos últimos anos permitiu grande avanço do conhecimento nas ciências agrárias, voltado para o aspecto fisiológico das plantas em resposta aos fatores ambientais limitantes ao crescimento, desenvolvimento e produtividade da planta. As pesquisas realizadas com propósito de compreender a relação dinâmica entre o solo a planta e a atmosfera têm constatado que no solo e na atmosfera predominam fenômenos de natureza física que estabelecem as relações de causa e efeito. Entretanto, quando os processos que envolvem a planta são considerados, a inter-relação entre eles com o sistema solo-atmosfera, verifica-se que muito ainda precisa ser conhecido, na escala molecular, das estratégias que a planta realiza para contornar situações estressantes impostas e sobreviver plenamente. Neste aspecto, Benincasa (2003) afirmou que o crescimento de uma planta resulta da interação de mecanismos físicos e bioquímicos bastantes complexos, a maioria dos quais são pouco esclarecidos ou mesmos desconhecidos.

A planta para crescer, se desenvolver e produzir em condições de campo, freqüentemente está exposta a fatores estressantes relacionados com os elementos ambientais luz, temperatura e umidade e ainda, fatores ligados ao solo que exercem influencia direta nos processos básicos de crescimentos da planta (fotossíntese e respiração) e também na perda de biomassa através da senescencia. Segundo Taiz e Zeiger (2004), a escala de tempo desse tipo de estresse apresenta grande variação, como por exemplo, a radiação e a temperatura podem atuar desde poucos minutos até horas. Outro fator como conteúdo de água no solo, pode levar dias ou ate semanas, enquanto que deficiência de minerais no solo necessita de meses para se manifestar. Os efeitos estressantes resultantes das condições climáticas e edáficas são gerados por fatores abióticos. Contudo, os conhecidos fatores bióticos, gerados por bactérias, fungos, vírus e nematóides, podem prejudicar os processos primários de assimilação (absorção de CO₂ e de minerais) e exercer influência marcante na sobrevivência, desenvolvimento e produtividade da planta.

A pesquisa agrícola tem papel fundamental na geração de conhecimentos que envolvem a complexa relação da vegetação com os fatores do clima em um dado instante ou durante certo período de tempo, fatores do solo e ligados a própria planta. Em geral, os fatores do clima e do solo condicionam a sobrevivência da planta e governam os processos físicos, bioquímicos e fisiológicos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera. Em face da

necessidade se buscar um entendimento mais completo das respostas da planta as condições agronômicas de campo, o presente estudo tem como objetivo, analisar a condição de estresse hídrico na cultura de soja, relacionados com fatores ambientais e fisiológicos da planta, visando a melhor qualidade, quantidade e rendimento na produção da cultura de soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta, atuando em praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, por meio do quais gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se na planta. Tem, ainda, papel importante na regulação térmica da planta, agindo tanto no resfriamento como na manutenção e distribuição do calor (NEPOMUCENO; NEUMAIER, 1994).

O clima pode ser considerado um regulador da produção agrícola. Os parâmetros climáticos exercem influência em todos os estágios do processo agrícola, desde o preparo da terra, semeadura, crescimento das plantas e colheita até o armazenamento, transporte e comercialização (AYOADE, 1986).

Com isso pode-se perceber a grande importância da água para os processos fisiológicos ou de manutenção da planta, isso é algo que deve ser estudado para que não se torne um fator limitante para o bom desenvolvimento dos vegetais, principalmente os de larga produção.

2.1 Efeitos do Déficit Hídrico na Soja

O rendimento máximo de uma cultura é determinado, principalmente, por suas características genéticas e por uma boa adaptação do cultivo ao ambiente predominante. Dentre os elementos do clima, os que mais afetam o comportamento e o desenvolvimento da cultura da soja é a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade de água (FARIAS, 1994).

Segundo Arantes e Miranda (2000) dentre os componentes limitantes da produção, os elementos climáticos, como a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade hídrica são os que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja, sendo o déficit hídrico aquele que afeta a produção agrícola com maior frequência e intensidade (FONTANA et al., 2001).

O efeito da deficiência hídrica na produção depende da época de ocorrência e de sua severidade. Em soja, nas fases de germinação e emergência, diminui o estande de plantas. No florescimento, causa o aborto das flores e impede a antese, enquanto no enchimento dos grãos, afeta o peso dos grãos e, conseqüentemente, a produção (BERLATO, 1987; FAGERIA, 1989).

A sensibilidade da soja ao déficit hídrico, em termos de rendimento de grãos, aumenta à medida que a planta avança em suas fases de crescimento e desenvolvimento,

apresentando menor sensibilidade durante o período vegetativo e maior sensibilidade durante a fase reprodutiva e enchimento de grãos (DOSS; PEARSON; ROGERS, 1974; HILL; JOHNSON; RYAN, 1979; SHAW; LANG, 1966). De acordo com Berlato (1987), o período reprodutivo da soja é mais crítico em relação ao déficit hídrico.

A disponibilidade de água é importante principalmente em dois períodos de desenvolvimento da soja, germinação e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais a obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas (EMBRAPA, 2006).

A soja tem dois períodos críticos bem definidos com relação a falta de água: na semeadura, tanto o excesso quanto a falta de água são prejudiciais ao desenvolvimento da cultura. Neste período, excessos hídricos são mais limitantes que déficits (SALINAS et al., 1989).

Quando o déficit hídrico ocorre nos primeiros estágios de desenvolvimento vegetativo, a soja recupera-se melhor do que outras culturas (DOSS; THURLOW, 1974), já que pode tolerar curtos períodos de déficit, pois tem sistema radicular profundo e período de florescimento, relativamente longo (MOTA, 1983).

A necessidade de água na cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8 mm dia⁻¹), decrescendo após esse estágio (EMBRAPA, 1999). Déficits hídricos expressivos, durante a floração e o enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas e, como consequência, causam a queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando, por fim, em redução do rendimento de grãos.

Berlato, Matzenauer e Bergamaschi (1986) relatam que a necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm/ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo, porém, EMBRAPA (1994) afirma que a exigência de água para a cultura da soja, encontra-se na faixa de 300 a 850 mm de água, dependendo de cultivá-la, da época e das condições locais.

Doorenbos e Kassam (1994) consideram que os períodos de florescimento e de formação da colheita da soja são os mais sensíveis ao déficit hídrico, particularmente a última parte do período de florescimento e o período de desenvolvimento da vagem.

Deve-se ressaltar que as necessidades hídricas das plantas variam de um período para o outro, aumentando desde a emergência das plântulas, com valores muito baixos, até o ponto de máxima área foliar onde se observa a maior evapotranspiração (KUSS, 2006).

Para a soja a água é de fundamental importância, não podendo ser ignorado esse fator. Por isso existe a grande necessidade de avaliar o grau de estresse nos diversos estágios da planta na cultura da soja ou para qualquer outra, para que se alcance um melhor rendimento da produção.

3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os fatores do clima e o do solo são os que mais contribuem nas respostas da planta diante das condições reinantes do tempo e do clima onde a planta se acha inserida. A temperatura do dossel esta diretamente relacionada com o potencial hídrico da planta, sua transpiração e, conseqüentemente, com o conteúdo de água no solo (IDSO et al., 1986). Quando uma folha está transpirando livremente, mantém-se relativamente resfriada. Quando a água se torna limitante, a energia na folha é acumulada e somente a emissão de radiação térmica pode dissipá-la. Então, a temperatura da folha se aproximará da temperatura do ar e, muitas vezes, superará esta, sob severas condições de estresse hídrico (KEENER; KIRCHER, 1983). Assim, a temperatura do dossel pode ser usada como indicativo de estresse hídrico.

A energia disponível para ocorrência dos processos que inter-relacionam o sistema solo-água-planta-atmosfera é proveniente do balanço de energia de uma superfície coberta com vegetação, dado pela equação:

$$R_n = H + LE + G \quad (1)$$

Onde:

R_n = saldo de radiação;

G = fluxo de calor no solo;

H = fluxo de calor no sensível do dossel para o ar;

LE = fluxo de calor latente para o ar, sendo L o calor latente de evaporação.

Em uma área com plantas em estágio de crescimento e desenvolvimento avançado, o fluxo de calor no solo (G) tornar-se desprezível, em função da pouca radiação que chega ao solo, provocada pelo sombreamento ocasionado pela cobertura foliar. Assim, a eq. (1) assume a seguinte forma:

$$R_n = H + LE \quad (2)$$

Os fluxos de calor latente e de calor sensível sobre a cultura podem ser expressos através das relações abaixo:

$$LE = \frac{\rho c p \left[c^* - e(z) \right]}{\gamma (r_a + r_c)} \quad (3)$$

$$H = \frac{\rho c p (T_c - T_a)}{r_a} \quad (4)$$

Onde:

ρ = densidade do ar;

c_p = capacidade calorífica do ar;

T_c = temperatura da superfície do dossel;

T_a = temperatura do ar;

e_c^* = pressão de saturação da vapor à temperatura do dossel;

$e(z)$ = pressão real de vapor a temperatura do ar em um nível (z) acima da cultura ;

γ = coeficiente psicrométrico;

r_a = resistência aerodinâmica do ar ao transporte de vapor;

r_c = resistência do dossel ao transporte de vapor.

Substituindo as eqs. (3) e (4) em (2) e arrumando os termos tem-se:

$$(T_c - T_a) = \frac{r_a R n}{\rho c_p} - \frac{r_a}{\gamma(r_a + r_c)} \overline{e_c^* - e_s(z)} \quad (5)$$

Para obtermos a diferença entre a temperatura da cobertura vegetal e do ar, através da eq. (5), teríamos que também conhecer a temperatura da cobertura vegetal em estudo, que por razões operacionais, não é um parâmetro muito fácil ser medido com precisão, em condições de campo. Para contornar tal dificuldade, precisamos eliminar na eq. (5), a necessidade da medida da temperatura do dossel.

A difusão do vapor entre uma cobertura vegetal e o ar é determinada principalmente através do termo $\overline{e_c^* - e_s(z)}$, o qual significa a diferença de saturação entre a superfície vegetada e do ar, sendo obtido pela a diferença de temperatura da cobertura vegetal e a da camada de ar acima das plantas. Assumindo que a cobertura vegetal é a superfície evaporante, o termo denominado inclinação da curva de saturação sobre essa superfície, segundo (OMETTO, 1981 e CLAWSON et al., 1989) é definido por:

$$\frac{e_c^* - e_s(z)}{T_c - T_a} = \Delta \quad (6)$$

Em que Δ , representa a tangente à curva de saturação do vapor d'água quando $T_c = T_a$.

A partir da eq.(6) tem-se que:

$$ec^* - es(z) = \Delta(Tc - Ta) \quad (7)$$

Somando e subtraindo o termo $e(z)$ no lado esquerdo da eq.(7) fica:

$$ec^* - es(z) + e(z) - e(z) = \Delta(Tc - Ta)$$

Operando os termos, tem-se:

$$(ec^* - e(z)) + (es - e(z)) = \Delta(Tc - Ta)$$

Finalmente encontrou-se que:

$$(ec^* - es) = \Delta(Tc - Ta) - (es - e(z)) \quad (8)$$

Substituindo a eq. (8) na eq. (5) tem-se:

$$(Tc - Ta) = \frac{raRn}{\rho cp} + \frac{ra[\Delta(Tc - Ta) + (es - e(z))]}{\gamma(ra + rc)} \quad (9)$$

Arrumando a eq. (9) tem-se:

$$(Tc - Ta) = \frac{raRn}{\rho cp} \frac{\gamma(1 + rc / ra)}{\Delta + \gamma(1 + ra / rc)} - \frac{1}{\Delta + \gamma(1 + rc / ra)} [es - e(z)] \quad (10)$$

Uma cultura com adequado suprimento de água e em boas condições nutricionais e fitossanitárias transpira em sua capacidade máxima. Com a água tornando-se limitante, a evapotranspiração real da cultura será menor do que a sua taxa máxima, porém ainda depende da disponibilidade de energia do meio para a realização do processo. A equação de Penman-Monteith para a estimativa da evapotranspiração, em termos das resistências aerodinâmicas e da cultura (MONTEITH; UNSWORTH, 1990) é escrita por:

$$LE = \frac{\Delta Rn + \frac{\rho cp}{ra} [es - e(z)]}{\Delta + \gamma(1 + rc / ra)} \quad (11)$$

Chamando a resistência da cultura, sob condições de evapotranspiração máxima, de r_c e fazendo $r_c=r_{cp}$, o termo psicrométrico será expresso como:

$$\gamma^* = \gamma \left(1 + \frac{r_{cp}}{r_c}\right)$$

Dessa forma, assume-se que o fluxo de calor latente terá intensidade máxima e a na eq. (11), tem a seguinte forma:

$$LEm = \frac{\Delta Rn + \frac{\rho c p}{ra} [es - e(z)]}{\Delta + \gamma^*} \quad (12)$$

Onde:

LEm = fluxo de calor latente na condição máxima

Fazendo-se a relação entre os fluxos de calor latente para as condições real e máxima, isto é, dividindo a eq.(11) pela eq. (12) fica:

$$\frac{LE}{LEm} = \frac{\frac{\Delta Rn + \frac{\rho c p}{ra} [es - e(z)]}{\Delta + \gamma(1 + ra / rc)}}{\frac{\Delta Rn + \frac{\rho c p}{ra} [es - e(z)]}{\Delta + \gamma^*}}$$

Fazendo as simplificações necessárias teremos que:

$$\frac{E}{Em} = \frac{\Delta + \gamma^*}{\Delta + \gamma(1 + rc / ra)} \quad (13)$$

Na eq. (13), a relação E/Em varia de 0 a 1. Será zero quando r_c tiver valor muito grande, ou seja: $r_c \rightarrow \infty$. Será igual a unidade (1), quando $r_c=r_{cp}$, situação em que, o termo (Em) estaria representando a evaporação de uma superfície de água-livre, que não é necessariamente o caso para ETm de uma cultura. Em áreas irrigadas, o solo pode estar suficientemente suprido com água e mesmo assim, a superfície foliar das plantas poderá parecer seca. Nesse caso, a resistência do dossel não será necessariamente zero. Porém, terá certamente, um valor equivalente ao da resistência do dossel na condição de evapotranspiração máxima (r_{cp}). O valor de r_{cp} será diferente para cada cultura, podendo apresentar variação durante o dia em resposta às variações dos fatores agrônômicos do local.

Em um sistema solo-planta, a razão entre a evapotranspiração de uma cultura qualquer e a evapotranspiração potencial observadas, durante certo período de tempo é um parâmetro mundialmente conhecido e que foi denominado de coeficiente de cultura (K_c), sendo definido em muitas publicações pela expressão abaixo, como por exemplo (DOOREMBOS e KASSAM, 1979):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_p} \quad (14)$$

O K_c varia de cultura para cultura, com o estágio de crescimento das plantas e sendo ainda, função do método de estimativa da evapotranspiração potencial utilizado na sua definição (VOLPE e MINCHIO, 1987). Além das condições hídricas do solo e da energia disponível ao processo evapotranspiratório, Tan e Fulton (1980) afirmaram que K_c pode ser também afetado pelas características aerodinâmicas e altura da cultura, época de plantio, comprimento da estação de cultivo e dos fatores do ambiente dominantes no local.

4 MATERIAL E MÉTODOS:

4.1 ÁREA DE ESTUDO:

O local onde o estudo foi realizado compreende uma área de produção comercial de soja de aproximadamente 200 hectares, situado no Município de Paragominas ($02^{\circ} 38' S$; $046^{\circ} 27' W$, 140 m). O Município de Paragominas com área de aproximadamente $19,5 \text{ km}^2$ está localizado na parte central da mesorregião do nordeste do Estado do Pará, distante de 280 km de Belém (Fig. 1). O clima predominante da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, ou seja, clima tropical chuvoso com estação seca bem definida. A temperatura média anual é elevada, em torno de 25°C . O período mais quente, com médias mensais em torno de $25,5^{\circ}\text{C}$ coincide com os meses de primavera no Hemisfério Sul, e as temperaturas mínimas diárias de 20°C , ocorrem nos meses de inverno no referido Hemisfério (junho a agosto). Os índices pluviométricos ficam, geralmente, entre 2.250 e 2.500 milímetros anuais. As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem, igualmente, durante o ano, sendo de janeiro a junho sua maior concentração (cerca de 80%), implicando grandes excedentes hídricos e, conseqüentemente, grandes escoamentos superficiais e cheias dos rios. A umidade do ar gira em torno de 85%.

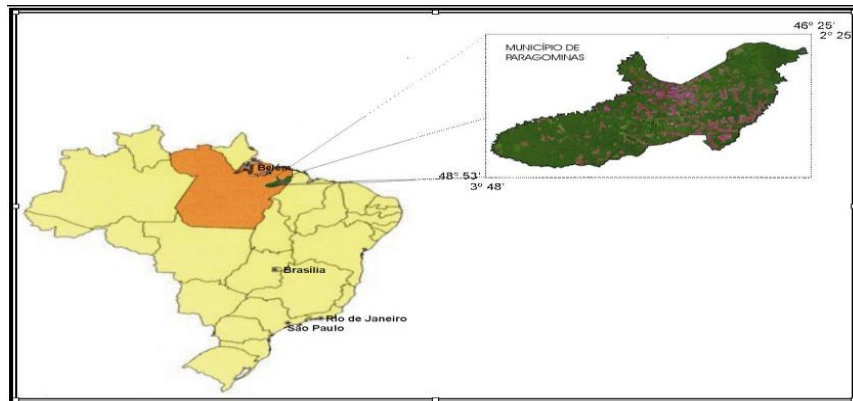


Figura 1 - Localização da área experimental.
Fonte: Palmeira et al. (2005).

4.2 DADOS

Os dados utilizados foram coletados em experimento de campo, os quais obtidos em uma cultura de soja (*Glycine Max* (L.) Merrill, BRS cultivar Tracajá), semeada em solo classificado como Latossolo Amarelo Argiloso de textura variando de franco-arenosa a muito argilosa, em fileiras no sentido norte-sul, obedecendo a um espaçamento de 0,50 m entre fileiras e uma semeadura variando entre 25 e 27 sementes por metro linear. A semeadura ocorreu no dia 24 de fevereiro de 2007 e a colheita foi realizada em 17 de junho, um ciclo de cultivo, portanto, totalizando 116 dias. Na Fig. (2), apresenta-se uma vista geral da área experimental destacando-se, do sistema de plantio e do aspecto da cultura 25 dias após a semeadura. Os instrumentos utilizados, métodos de medidas e os detalhes do experimento de campo estão descritos em Costa (2008).



Figura 2- Área de estudo do experimento do sistema de plantio e do aspecto da cultura 25 dias após a semeadura.

4.3 METODOLOGIA

Os indicadores da condição de estresse da cultura que foram analisados através dos seguintes métodos:

4.3.1 Método da diferença de temperatura dossel-ar (MDT)

O Método da diferença de temperatura dossel-ar, definido abaixo foi utilizado para analisar a ocorrência da condição de estresse na cultura, a partir da diferença entre a temperatura dossel e a do ar, nos termos da eq. (10), determinada com base no balanço de energia à superfície, isto é:

$$MTE = \frac{raRn}{\rho cp} \frac{\gamma(1+rc/ra)}{\Delta + \gamma(1+ra/rc)} - \frac{1}{\Delta + \gamma(1+rc/ra)} [es - e(z)] \quad (15)$$

A determinação do limite inferior e do limite superior, que nos permitiu analisar a situação real da condição de estresse da cultura foi determinada a partir das expressões abaixo:

O limite superior foi avaliado segundo a equação:

$$(Tc - Ta) = \frac{raRn}{\rho cp} \quad (16)$$

E o limite inferior que a cultura evapotranspira na taxa máxima foi determinado pela equação:

$$(Tc - Ta) = \frac{ra}{\rho cp} Rn \frac{\gamma^*}{\Delta + \gamma^*} - \frac{[es - e(z)]}{\Delta + \gamma^*} \quad (17)$$

A resistência aerodinâmica do ar foi determinada segundo PEREIRA et al. (1997), por:

$$ra = \frac{250}{1 + 0,256U^2} \quad (18)$$

em que U_2 é a componente horizontal do vento medida a 2 m acima do dossel.

A inclinação da curva de pressão de saturação do vapor (Δ) em função da temperatura do ar (T_a) foi calculada pela expressão (ALLEN et al., 1998):

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

A pressão de saturação e_s e a pressão real vapor do ar acima do dossel e_a , no nível de 2 metros acima do dossel foram obtidas respectivamente segundo as eqs. (16) e (17) abaixo:

$$e_s = 0,6108 \exp(\frac{17,27T_a}{T_a + 237,3}) \quad (19)$$

$$e(z) = e_s \frac{UR}{100} \quad (20)$$

4.3.2 Método Evaporativo (MEV)

Através do método evaporativo analisou-se a ocorrência da condição de estresse na cultura em função da demanda atmosférica e do aspecto fisiológico envolvido no processo evapotranspiratório. Embora pareçam processos independentes, ambos apresentam forte dependência do balanço de energia à superfície, conforme definido nos termos da eq. (13). Assim sendo, o MEV é expresso segundo a expressão abaixo:

$$MEV = \frac{\Delta + \gamma^*}{\Delta + \gamma(1 + rc / ra)} \quad (21)$$

4.3.3 Método do Coeficiente de Cultura (MKc)

O método do coeficiente de cultura foi obtido com base no conceito de coeficiente de cultura, definido através da eq. (14). Para obtermos a evapotranspiração da cultura (E_{Tc}) utilizou-se a equação de Panman-Monteith, desenvolvida dentro do conceito do “Big Leaf”, a qual a partir do balanço de energia e conceitos de resistência aerodinâmica do ar e da cultura é descrita por:

$$ET_c = \frac{\Delta(Rn - G) + 86400 \frac{\rho c p}{ra} (e_s - e(z))}{L[\Delta + \gamma(1 + rc / ra)]} \quad (22)$$

Para representar o que seria a evapotranspiração máxima, segundo o conceito de evapotranspiração de referência (ET_p) foram utilizados os parâmetros da grama, qual sejam: resistência estomática com valor de 70 s/m, valor do albedo de 0,24 e a altura da grama fixada em 0,12m. Com isso, assumindo que o balanço radiativo seria comum nos dois ambientes (grama e soja), a eq. (22) foi utilizada para estimar ET_p, substituindo-se o termo rc, pelo do valor constante atribuído à grama. Desta forma, o método do coeficiente de cultura é então definido segundo a eq. (23) abaixo:

$$MK_c = 1 - \frac{ET_c}{ET_p} \quad (23)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será analisado e discutido a ocorrência ou não, da condição de estresse na cultura de soja, decorrente da resposta fisiológica da planta, em função da demanda atmosférica e condição hídrica do solo do local.

5.1 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS E DO SOLO DURANTE O CICLO DE CULTIVO

A Figura 3 apresenta os valores diários da precipitação e a variação diária do conteúdo de água na camada superficial do solo durante a estação de cultivo da soja. Pode ser observado nessa Figura, que poucos dias não apresentam eventos de precipitação. Entretanto, grande concentração de eventos pode ser percebida na fase inicial entre 15 a 25 dias após a semeadura (DAS) e também, na fase reprodutiva (56-69 DAS) aproximadamente. Por outro lado, o conteúdo de água na superfície do solo não mostrou variabilidade diária expressiva ao longo do período de cultivo. Pelas condições de distribuição e frequência da precipitação mostrada acima, juntamente com estado hídrico do solo, podemos seguramente inferir que as plantas não sofreram restrições de água em todo o ciclo de cultivo.

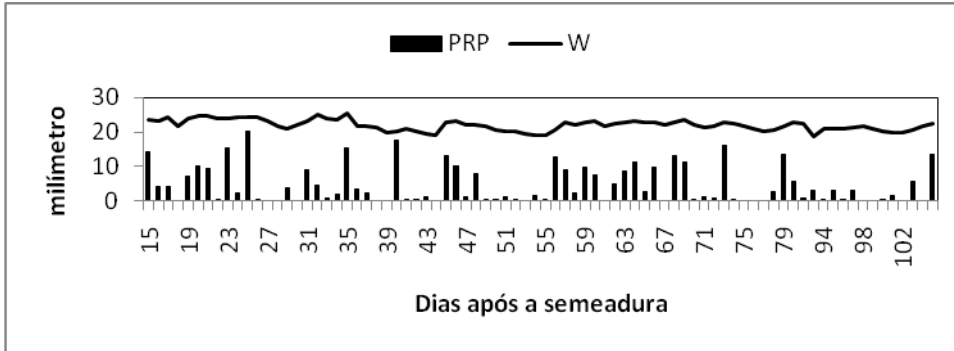


Figura 3 - Valores diários da precipitação e variação do conteúdo de água no solo

Durante todo o período de cultivo da soja, a cultura não sofreu restrições hídricas, sendo mostrado pelas Figs. (3) e (4) que houve chuvas abundantes e uma boa quantidade de água no solo.

A Figura 4 mostra os valores diários do conteúdo de água na camada superficial do solo, juntamente com as características físico-hídricas do solo: Capacidade de Água Disponível (CAD) e Ponto de Murcha Permanente (PMP). Podemos observar que durante o período do cultivo o conteúdo de água no solo, sempre permaneceu entre a capacidade de água disponível e o ponto de murcha permanente, ou seja, no que diz respeito ao conteúdo de água no solo para as plantas, a condição de umidade se mostrou altamente favorável e ainda, se percebe claramente que o solo não apresentou déficit e muito menos excesso de água, que causasse alagamento e viesse a prejudicar as boas condições para o desenvolvimento da cultura.

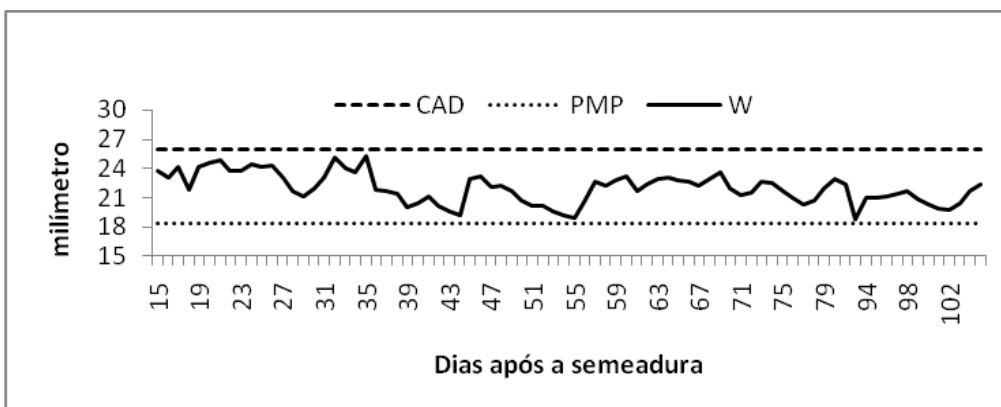


Figura 4 – Valores diários do conteúdo de água na camada superficial do solo e os valores característicos da capacidade de água disponível (CAD) e do ponto de murcha (PMP).

5.2 AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE ESTRESSE NA CULTURA

5.2.1 Método da diferença de temperatura dossel-ar (MDT)

Conforme mencionado anteriormente, a magnitude da diferença de temperatura entre dossel e a camada de ar acima dele, dirá se a cultura estará ou não sob a condição de estresse. O menor valor de temperatura (limite mínimo) e o valor mais elevado (limite superior), que nos permite inferir do nível de estresse em que as plantas se encontram, foram determinados através das eqs.(16 e 17). O valor da temperatura referente ao limite inferior foi de $3,9^{\circ}\text{C}$ e de $18,9^{\circ}\text{C}$, o valor referente ao limite superior. Ou seja, no intervalo de temperatura que vai de $3,9^{\circ}\text{C}$ até $18,9^{\circ}\text{C}$ nos permitirá dizer se as plantas estão em níveis de estresse baixo, médio ou muito elevado.

A Figura 5 mostra a variação diária da diferença de temperatura dossel-ar (MDT). Pode ser percebido que os maiores valores da diferença de temperatura dossel-ar ocorreram no início do período de cultivo, época em que as plantas apresentavam pequeno desenvolvimento vegetativo e a fração de solo exposto era mais evidente. Essa condição retrata mais a diferença entre a temperatura da superfície do solo e a do ar, do que propriamente a diferença de temperatura dossel-ar. Enquanto que as menores diferenças de temperatura dossel-ar ocorreram no período de 58-98 DAS, período que compreende a fase de máxima cobertura foliar. Os valores positivos da diferença de temperatura dossel-ar, indicam que o dossel está mais quente do que a camada de ar acima dele e as diferenças negativas indicam o inverso, ou seja, que é o ar sobre o dossel que está mais quente. Os valores positivos estão relacionados às propriedades de absorção e reflexão das folhas e por isso tornam-se mais quente do que o ar. Os valores negativos atribuem-se que estejam relacionados com a transpiração foliar muito intensa, causada pela alta demanda atmosférica, conforme por ser visto nas Figuras 3 e 4, onde se percebe que quando ocorreram esses eventos, não houve registro de precipitação no dia assinalado. Porém, se ocorreu precipitação não foi em grande quantidade. Finalmente, pode ser percebido que a diferença de temperatura dossel-ar, durante todo o período não ultrapassou a $4,0^{\circ}\text{C}$ e conforme os limites da diferença dossel-ar a cima referidos, significa que não ocorreu condição de estresse na cultura.

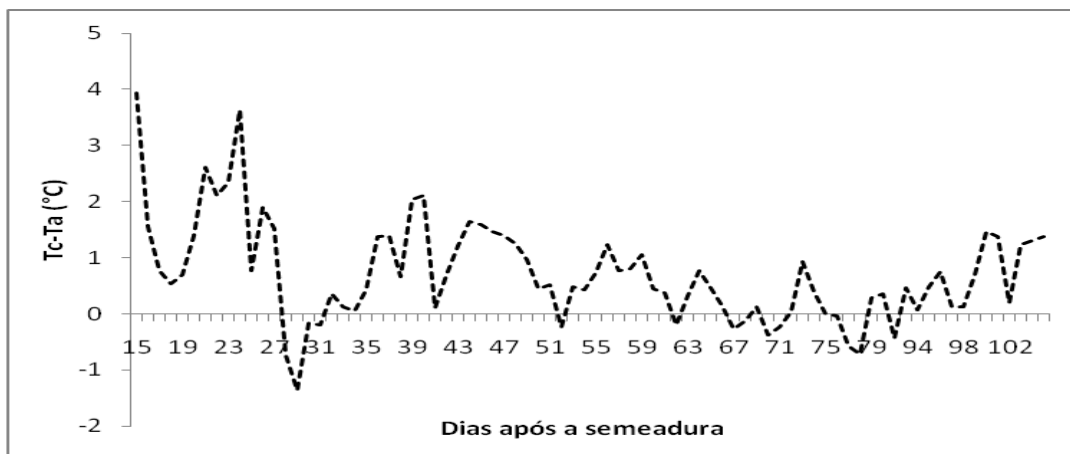


Figura 5- Variação diária do estresse na cultura analisado através da diferença de temperatura dossel-ar ($T_c - T_a$).

Visto que na escala diária constatou-se que não ocorreu condição de estresse na cultura, como estratégia de análise, investigou-se também, na escala horária a presença de estresse em dias típicos (seco e chuvoso), referentes as fases de cultivo, inicial, intermediária e final.

A Figura 6 mostra a variação horária da diferença de temperatura dossel-ar ($T_c - T_a$), a 25 DAS, dia seco (Figura 6a) e a 18 DAS, dia chuvoso (Figura 6b), referente a fase de cultivo inicial, cuja característica marcante é a maior exposição superfície de solo nu, em decorrência do pequeno desenvolvimento das plantas. No dia seco (Figura 6a) percebemos claramente, que a da diferença ($T_c - T_a$) tem comportamento semelhante ao ciclo diurno do sol, onde se ressalta que ($T_c - T_a$), aumenta ou diminui conforme o sol se eleva ou declina no horizonte. No período diurno das 06h00 às 18h00, mostra somente valores positivos (Dossel mais quente do que o ar acima), contrastando com os valores negativos do período noturno, quando o dossel se mostra mais frio do que a camada de ar acima dele. Podemos ainda observar que a diferença ($T_c - T_a$) durante o período diurno, alcançou valores bem elevados, com valor máximo de aproximadamente de 15 °C e na parte noturna a diferença negativa de ($T_c - T_a$) alcançou valor máximo de aproximadamente - 10 °C, nas primeiras horas da madrugada. No dia chuvoso (Figura 6b), o padrão geral de variação de ($T_c - T_a$) se mostrou bem semelhante aquele observado no dia seco, porém, os valores não se mostraram tão elevados, ou seja, a diferença máxima de ($T_c - T_a$) ficou próximo de 10 °C, já os valores negativos da diferença ($T_c - T_a$) se mostraram também menor do que aquelas observadas no dia seco. De acordo com o valor máximo e mínimo anteriormente estabelecido para a existência da condição de estresse, podemos assegurar que na escala horário, o nível de

estresse da cultura foi bem elevado, principalmente no horário das 09h00 até as 14h00 aproximadamente no dia seco.

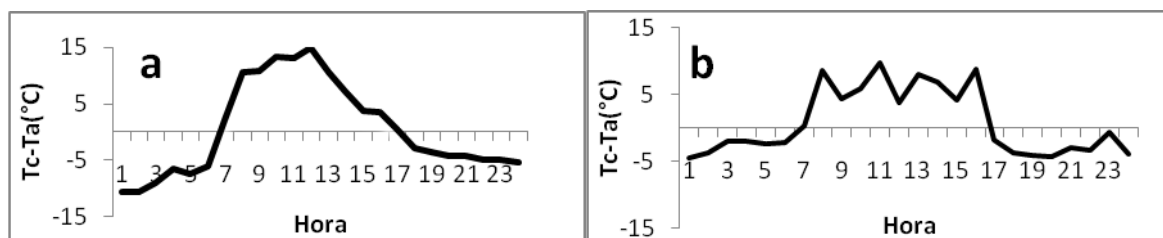


Figura 6 – Variação diária da diferença de temperatura dossel-ar ($T_c - T_a$), em 18 DAS, para dia seco (Fig. 6a) e em 25 DAS, para dia chuvoso (Fig. 6b), referente a fase inicial de cultivo.

Na Figura 7 mostra-se variação horária da diferença de temperatura dossel-ar ($T_c - T_a$), a 76 DAS, dia seco (Figura 7a) e a 79 DAS, dia chuvoso (Figura 7b), referente a fase de cultivo intermediária, que apresenta como característica importante, o maior desenvolvimento vegetativo da cultura e pouca ou nenhuma exposição de superfície do solo. Pode ser observado tanto na Figura 7a, quanto na figura 7b, que os valores da diferença ($T_c - T_a$) se mostraram bem menores do que aqueles observados na fase inicial de cultivo. O valor máximo da diferença ($T_c - T_a$) no período diurno não ultrapassou os 5 °C, situação semelhante, pode ser observada que ocorreu também no período noturno. Acredita-se que com o fechamento do dossel, juntamente com a fase reprodutiva da cultura, fará com que as plantas transpirem na sua taxa máxima. Estando as plantas na condição de transpiração máxima, significa que os estômatos estão abertos, a resistência estomática é mínima, cuja a consequência desse processo é de não permitir que haja elevação na temperatura do dossel. Observa-se, portanto, que de acordo com o critério adotado para ocorrência ou não da condição de estresse das plantas, verifica-se que também na fase intermediária, os valores diários da diferença ($T_c - T_a$), indicam a ocorrência de estresse nas plantas, porém em nível pouco expressivo.

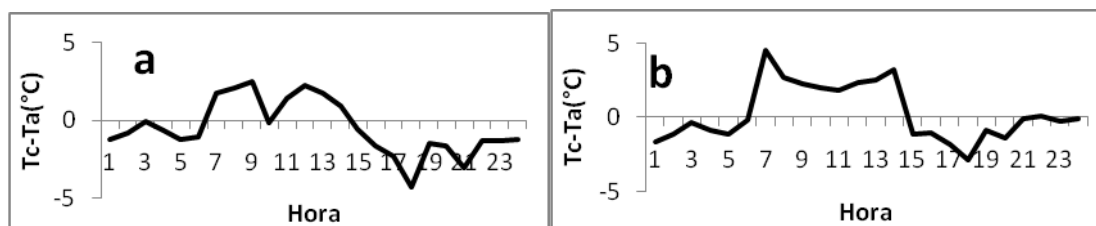


Figura 7 – Variação diária da diferença de temperatura dossel-ar ($T_c - T_a$), em 76 DAS, para dia seco (Fig. 7a) e em 79 DAS, para dia chuvoso (Fig. 7b), referente a fase de cultivo intermediária.

A Figura 8 mostra a variação horária da diferença de temperatura dossel-ar ($T_c - T_a$), a 98 DAS, dia seco (Figura 8a) e a 103 DAS, dia chuvoso (Figura 8b), referente a fase final de cultivo, que tem com o importante característica, o amadurecimento das folhas e frutos e a conseqüente queda das folhas (senescência), com destaque também, para o aparecimento de maior parte da superfície do solo. O padrão de variação diária da diferença de temperatura ($T_c - T_a$) tanto do dia seco (Figura 8a) quanto do dia chuvoso (Figura 8b) é muito semelhante ao que ocorreu na fase intermediária, diferindo apenas quanto aos valores, referentes ao período diurno e noturno, que foram ligeiramente maiores. A tendência de crescimento mostrada evidencia a diminuição da cobertura foliar, em decorrência do fenômeno da senescência e o maior surgimento de solo exposto, porém coberto por uma camada de folhas, que ainda não permitem que a diferença ($T_c - T_a$) atinja valor tão expressivo, quanto aqueles observados na fase inicial da cultura (Figura 6a). Nesta fase final de cultivo, podemos verificar a presença da condição de estresse na cultura. Entretanto, o nível do estresse não se mostra ainda muito expressivo, tal como se sucedeu na fase de cultivo intermediária.

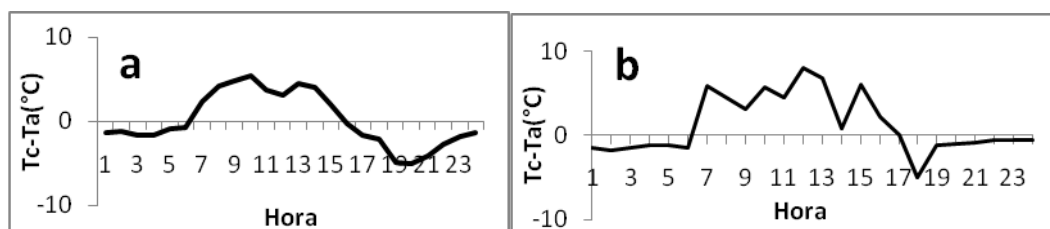


Figura 8 – Variação diária da diferença de temperatura dossel-ar ($T_c - T_a$), em 98 DAS, para dia seco (Fig. 8a) e em 103 DAS, para dia chuvoso (Fig. 8b), referente a fase final de cultivo.

5.2.2 Método Evaporativo (MEV)

Os valores diários do estresse da cultura (Figura 9), determinados através do MEV, o qual tem base no balanço de energia à superfície (eq. 21), mostram pouca variabilidade diária ao longo da estação de cultivo e intervalo de variação não muito expressiva, onde os valores variaram de aproximadamente 0,29 até 0,40. Tendo base o método evaporativo, no balanço de energia local, os valores baixos e o pequeno intervalo de variação do estresse, dão indicação, de que o saldo de radiação pouco variou durante a estação de cultivo, bem como o fluxo de calor latente. Pode ser observado também, que os valores mais elevados ocorreram no início e no final do período cultivo. Os valores elevados associado com o início da estação de cultivo (15 a 20 DAS) estão relacionados com o período de maior fração de solo descoberto, em função do pequeno desenvolvimento da área foliar da cultura. Os valores elevados que

ocorreram no final do período de cultivo, acham-se relacionados com o período de senescência e a conseqüente diminuição da cobertura foliar. Análise semelhante em cultivo de soja, realizado por Nielsen em 1989, citado por Dal Fabbro (1995) encontraram valores que variaram de 0,4 a 0,6 e não sendo observado estresse na cultura. Como os valores do estresse encontrados no presente estudo ficaram abaixo de 0,40, significa que a demanda evaporativa do ambiente, não causou estresse as plantas durante toda a estação de cultivo.

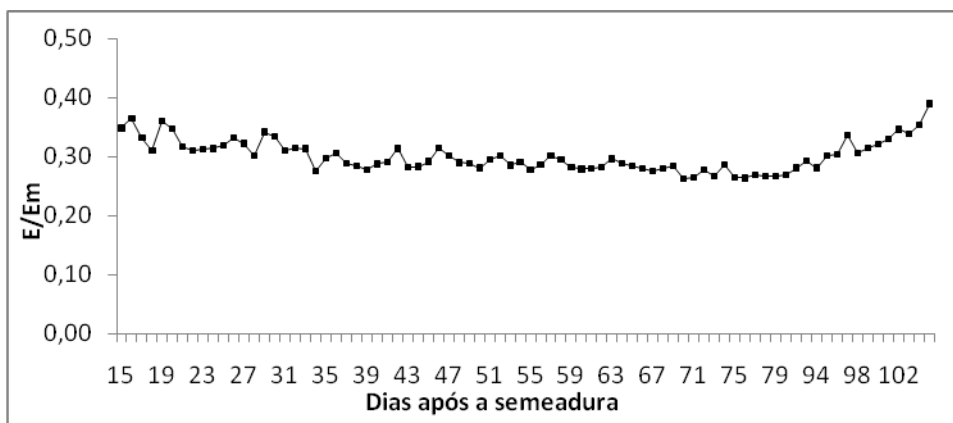


Figura 8 – Variação diária do estresse da cultura analisado através do Método evaporativo (MEV).

5.2.3 Método do coeficiente de Cultura (MKc)

A análise da condição de estresse na cultura através do MKc (Figura 9), que tem como base a (eq. 23) mostra valores positivos na fase inicial de cultivo (período aproximado que vai de 15 a 40 DAS) e na fase final do cultivo, após 98 DAS. Os valores negativos ocorreram no período de 45 a 70 DAS. Valor nulo de MKc, significa igualdade entre os valores de ETo e ETC. Valor positivo de MKc, indica que o valor de ETo é maior do que o valor de ETC e valor negativo de MKc, nos mostra que o valor de ETo é menor do que o valor de ETC.

De acordo com o acima considerado, os valores positivos decrescentes referentes ao período inicial de cultivo, principalmente de 15 a 30 DAS, nos mostra que a ETC aumenta com o desenvolvimento fenológico da cultura. Os valores positivos mais elevados (15 a 18 DAS aproximadamente), não refletem propriamente a ETC, em virtude do pequeno desenvolvimento da cultura e da maior área de solo nu. Os valores positivos no final do período de cultivo indicam decréscimo da ETC, em virtude da morte e queda das folhas (senescência). No período em que os valores de MKc foram negativos (de 45 a 70 DAS

aproximadamente), mostra que os valores da ETC foram ligeiramente maiores do que os valores de ETo. Este período coincide com a fase do fechamento do dossel, época em que supostamente a ETC deverá ocorrer numa taxa máxima. Por outro lado, isso revela que nas condições agrônômicas em que a soja se desenvolveu, uma superfície gramada, nas condições padrão teria ETo menor. O motivo para dessa ocorrência poderá ser atribuída, aos fatores ligados a reflexão e a resposta fisiológica da soja que, apresentam grande variabilidade durante a estação de cultivo.

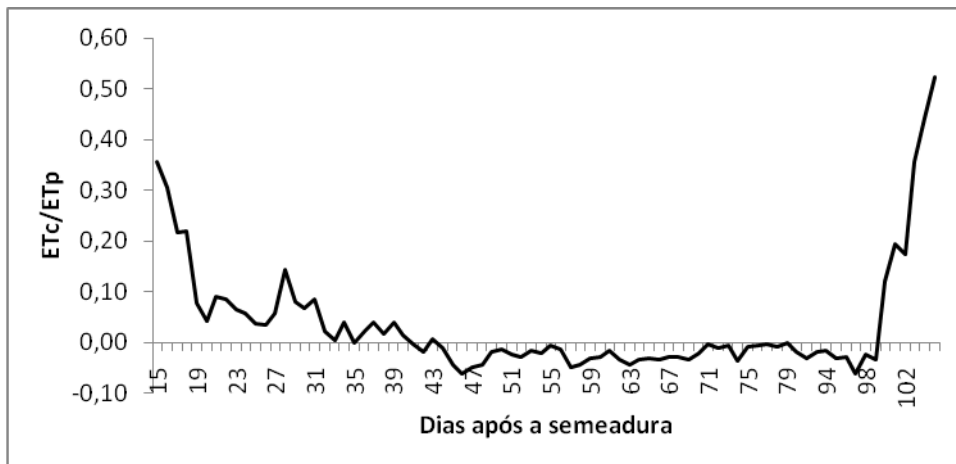


Figura 9 - Variação diária do estresse da cultura analisado através do Método do coeficiente de Cultura (MKc)

6 CONCLUSÃO

As análises do desempenho dos métodos mostraram que a condição de estresse na cultura não existiu, quando as análises de valores se fizeram na escala diária. Entretanto, quando se analisou na escala horária, o desempenho do MDT (único que permitia) em dias típicos (seco e chuvoso), dentro das fases inicial, intermediária e final da estação de cultivo, verificou-se que as plantas atingiram um alto nível de estresse, principalmente na fase inicial de cultivo em dia seco. Nos outros dias analisados, também se constatou que havia condição de estresse às plantas, porém em nível que variou de leve à moderado. Através dessas constatações, concluímos, finalmente, que as plantas durante o período de cultivo se desenvolveram em condições agronômicas altamente favoráveis. E dentre os três métodos o mais prático e detalhado é o do MDT para se utilizar.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome, FAO, 1998. p. 300. (Irrigation and Drainage Paper 56).
- ARANTES, N.E.; MIRANDA, M.A.C. **Cultura da soja no cerrado**. In: ARANTES, N. ; Plínio SOUZA, I. de M.. (Ed.). Piracicaba: POTAFOS, 2000. Capítulo VII, p. 209-224.
- AYOADE, J.O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel, 1986.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: Funep, 2. ed. 2003. 41p.
- BERLATO, M.A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o deficit hídrico para o estado do Rio Grande do Sul**. 1987. 83f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.
- BERLATO, M.A.; MATZENHAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque “classe A” e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.22, n. 2, p.25 -30. 1986.
- CLAWSON, K.L.; JACKSON, R.D.; PINTER, P.J. Evaluating plant water stress with canopy temperature differences. **Agron. J.**, v.81, p.858-63. 1989.
- COSTA, J.P.R. Modelagem e simulação das interações biosfera-atmosfera em plantio de soja na Amazônia. **UFV**. 2008. 102f. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Viçosa.
- DAL FABRO, S. **Relação entre a temperatura radiante do dossel vegetativo e condições ambientais e sua aplicação na detecção de estresse hídrico da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.)**. Piracicaba. 1995. 122f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 1995.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193p. (Irrigation & Drainage paper 33).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.M. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: FAO, 1994 (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).
- DOSS, B.D.; PEARSON, R.W.; ROGERS, H.T. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, p.297-299. 1974.

DOSS, B.D.; THURLOW, D.L. Irrigation, row width and plant population in relation to growth characteristics of two soy bean varieties. **Agronomy Journal**, v.66, n.2, p.297-299. 1974.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (EMBRAPA). **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1999/2000**. 1999. 226f. Londrina: Embrapa Soja; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1999. (Documentos, 5).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Tropical Soybean: improvement and production. Rome, Italy: FAO.- Plant Production and Protection, p. 254. 1994.(Series, n.27)

FARIAS, J.R.B. Climatic requirements. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tropical Soybean: improvement and production**. Rome: FAO, p. 13-17. 1994 (FAO Plant Production and Series, 27). 1994.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; LAUSCHNER, M.H.; MELLO, R.W. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 399-403, març. 2001.

FAGERIA, K.N. **Solos tópicais e aspectos fisiológicos das culturas. Ecofisiologia da cultura da soja**. Brasília: EMBRAPA-DPU, 1989. p.382-395. 1989. (EMBRAPACNPAF Documentos, 18).

HILL,R.W.,JOHNSON,D.R.,RYAN,K.H.A model for predicting soybean yield from climatic data. **Agronomy Journal**, Madison,v.71, p.251-256. 1979.

IDSO, S.B.; CLAWSON, K.L.; ANDERSON, M.G. Foliage temperature: effects of environmental factors with implications for plant water stress assessment and the CO₂/climate connection. **Water Res. Res.**, Washington, v.22, n.12, p. 1702-16. 1986.

KEENER, M. R., KIRCHER, P.L. The use of canopy temperature as an indicator of drought stress in humid regions. **Agric. Meteorol.**, v.28, p.339-49, 1983.

KUSS, R.C.R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. 81f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.2006

MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**. 2nd ed. Edward Arnold, London: United Kingdom, 1990.

MOTA, F.S. Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil. In: VERNETTI, F.J. (coord.). **Soja: planta, clima, pragas, moléstias e invasoras**. Campinas: Fundação Cargill 1983. v.1, p.93-126.

NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N. Efeitos da disponibilidade hídrica no solo sobre a cultura da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 15., 1994, Londrina, PR. **Ata...** Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1994. p. 42-43 (Documentos, 72).

OMETTO, S.C. **Bioclimatologia vegetal**. Piracicaba-SP: Agronômica Ceres LTDA, 1981. 440p.

PALMEIRA, A.F; CREPANI, E; MEDEIROS, J.S. DE. Uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na proposta de um mapa de ordenamento territorial do município de Paragominas (Estado de Pará). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, **Anais...** Goiânia: 2005. p. 3207-3214.

PEREIRA, L.S.; ALLEN, R.G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Revista de Engenharia Agrícola de Jaboticabal**, Jaboticabal, v. 16, n. 4, p. 118-143. 1997.

SALINAS, A.R. et al. Comportamento de genótipos de soja, hasta el estadio de plantulas em diferentes niveles de humedad. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EM SOJA, 4., 1989, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: Asociación Argentina de la Ssoja, 1989. p.376-382.

SHAW, R.H., LAING, D.R. Moisture stress and plant response. In: PIERRE, W.H. et al. (ed.) **Plant environment and efficient water use**, Madison, [s.n.], 1966. p.73-94.

TAN, C.S.; FULTON, J.M. Ratio between evapotranspiration of irrigated crops from floating lysimeters and classe A pan evaporation. **Journal Plant Science**. v. 60, p.197-201. 1980.

TAIZ, L. E ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 728p.

VOLP, C.A.; MINCHIO, C.A. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura da ervilha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Belém-Pará. **Anais** Belém-PA: ABA, 1987. p.132-142.