

CONSUMO HÍDRICO DA SOJA NO NORDESTE PARAENSE*

**PAULO JORGE DE OLIVEIRA PONTE DE SOUZA¹; SAMUEL ORTEGA-FARIAS²;
EDSON JOSE PAULINO DA ROCHA³; ADRIANO MARLISOM LEAO DE SOUSA⁴
E EVERALDO BARREIROS DE SOUZA⁵**

¹Meteorologista, Prof. Dr. Agrometeorologia, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia, UFRA/ISARH, paulo.jorge@ufra.edu.br

²Engenheiro agrônomo, Prof. PHD. Agroclimatologia, Centro de Investigacion y transferencia em Riego y agroclimatologia, Universida de Talca, UTALCA/CITRA, sortega@utalca.cl

³Meteorologista, Prof. Dr. Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, UFPA/IG, eprocha@ufpa.br

⁴Meteorologista, Prof. Dr. Hidrologia, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia, UFRA/ISARH, adriano.souza@ufra.edu.br

⁵Meteorologista, Prof. Dr. Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, UFPA/IG, everaldo@ufpa.br

*Extraído da tese de doutorado do primeiro autor

1 RESUMO

Diversas pesquisas realizadas no Brasil têm mostrado que o rendimento das culturas é influenciado por fatores climáticos, dentre eles o estresse hídrico. O consumo hídrico da soja varia com o desenvolvimento vegetal e em função das condições ambientais, com impactos relevantes em seu rendimento quando esta demanda não é atendida. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o consumo hídrico da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill), variedade Tracajá, durante o ciclo cultural de 2007 em uma área experimental dentro de uma fazenda de produção comercial de soja no nordeste Paraense. A evapotranspiração real da cultura foi estimada pelo balanço de energia através da técnica da razão de Bowen. Os resultados permitem inferir que: i) o consumo hídrico da soja acompanhou a tendência do aumento no índice de área foliar (IAF), com máxima evapotranspiração durante o período de enchimento de grãos, cujo valor médio foi de $4,1 \pm 0,4$ mm.dia⁻¹; ii) baixos valores do fator de desacoplamento durante a fase inicial da cultura indicaram uma importante contribuição da evaporação do solo e maior controle estomático do processo; iii) com o fechamento do dossel houve uma diminuição do controle estomático indicando um aumento da contribuição da transpiração e o desacoplamento do dossel com a atmosfera, sendo a evapotranspiração controlada diretamente pela energia disponível; iv) reduções no conteúdo de água do solo durante a fase reprodutiva sugeriram um importante controle estomático na evapotranspiração da soja; v) o consumo total de água pela soja desde a fase V1 até a colheita foi de 335 mm.

Palavras-chave: Fronteira agrícola, Razão de Bowen, Evapotranspiração.

SOUZA, P.J.O.P.; ORTEGA-FARIAS, S.; ROCHA, E.J.P.; SOUSA, A.M.L.; SOUZA, E.B.

SOYBEAN WATER REQUIREMENT IN NORTHEAST OF PARÁ STATE

2 ABSTRACT

Several studies conducted in Brazil have shown that crop yield is affected by different climatic factors, including water stress. Water consumption of soybean varies with plant development and environmental conditions, with significant impacts on its yield when this demand is not met. Water consumption of soybean crop (*Glycine Max (L.) Merrill*) grown during the 2007 crop cycle in a soybean production areas in the Amazon was investigated. The soybean water consumption followed the trend of increase in LAI, with maximum evapotranspiration during grain filling period, whose mean value was 4.1 ± 0.4 mm.day⁻¹. Low values of the decoupling factor during the initial phase of the crop indicated a considerable contribution of soil evaporation and a higher stomatal control of the process. After the canopy closure there was a decrease in stomatal control indicating an increment in the transpiration contribution besides a canopy decoupling with the atmosphere, which indicated a direct control of evapotranspiration by the available energy. Slight reductions in soil water content during the reproductive phase suggested a certain importance of stomatal control in soybean evapotranspiration. The total water consumption of soybean from the V1 stage until harvest was 335 mm.

Keywords: Agricultural Border in the Amazon, Bowen Ratio, Evapotranspiration.

3 INTRODUÇÃO

Atualmente os maiores produtores de soja no mundo são o Brasil, os Estados Unidos, a Argentina e a China, que juntos são responsáveis por 85% da produção mundial. Sendo, os três primeiros responsáveis por 81% da comercialização mundial desta oleaginosa e o Brasil o principal exportador (EMBRAPA, 2013a). Dos 27,7 milhões de hectares cultivados com soja no Brasil na safra 2012/2013, 88% localizam-se na região centro-sul do Brasil, com 7,8 milhões de ha apenas no estado do Mato Grosso, e pouco mais de 901 mil ha nos estados da região Norte do Brasil (CONAB, 2014).

Algumas pesquisas realizadas no Brasil têm mostrado que o rendimento da soja é influenciado por fatores climáticos como déficit hídrico (ALBERTO et al., 2006), excesso hídrico (SCHOFFEL et al., 2001) e temperatura (SCHOFFEL & VOLPE, 2002). Dentre estes fatores, o regime de chuvas é, de acordo com Farias et al. (2001), o principal responsável pela variabilidade do rendimento da soja em várias regiões do Brasil (FARIAS et al., 2001).

O consumo de água pela soja varia com o desenvolvimento vegetal e em função das condições ambientais, havendo sérios impactos no seu rendimento quando esta demanda não é suprida, principalmente durante o período reprodutivo (OYA et al., 2004), em especial na fase de enchimento de grãos (EMBRAPA, 2013a).

Alguns trabalhos sobre necessidade hídrica da soja têm mostrado que a mesma apresenta máximo consumo variando entre 5,6 e 7,5 mm por dia entre o florescimento e enchimento de grãos (BERLATO et al., 1986; PAYERO; IRMAK, 2013; MOREIRA et al., 2013). Dependendo da região do Brasil e cultivar utilizada, a necessidade hídrica de todo o ciclo da soja para a obtenção de bons níveis de rendimentos varia entre 450 e 800 mm (FARIAS et al., 2007). Suyker & Verma, (2009) observaram que as necessidades hídricas para o ciclo da soja nos Estados Unidos da América, foi de 452 mm quando cultivada com irrigação via pivô central, e de 431 mm quando cultivada em sequeiro.

Sendo assim, torna-se importante o conhecimento do padrão de consumo hídrico neste tipo de ecossistema na região como estratégia de manejo buscando melhorar a produção na Amazônia oriental. Portanto, este estudo teve por objetivo analisar a necessidade hídrica da soja durante um ciclo produtivo na região Nordeste do estado do Pará através de um método micrometeorológico de estimativa do balanço de energia.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante a safra de 2007/2008 no município de Paragominas, situado na região nordeste do Estado do Pará. Esta região foi escolhida pelo fato de ter apresentado uma grande expansão do cultivo da soja nos últimos anos. A área experimental com cultivo de soja foi de 200 ha (02°59'08"S; 47°19'57"O; 122 m), sendo esta semeada mecanicamente com a cultivar Tracajá (ciclo precoce) em fileiras espaçadas de 0,5 m e espaçamento entre plantas de 0,1 m a fim de atender a popular recomendada (EMBRAPA, 2013a). A semeadura foi realizada em 23 de fevereiro e a colheita foi feita em 21 de Junho de 2007. O solo da região é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2013b) de textura variando de franco-arenosa a muito argilosa, com conteúdo volumétrico de água de 0,43 m³ m⁻³ na capacidade de campo e de 0,19 m³ m⁻³ no ponto de murcha.

O município de Paragominas possui um clima do tipo Am (classificação de Köppen), clima úmido com temperaturas acima de 18 graus e com pequena estação seca, apresentando um período chuvoso compreendido pelos meses de janeiro a meados de junho, e o restante do ano considerado como o período menos chuvoso, com um total anual de 1.801 mm. A temperatura média do ar varia entre 25,6°C no período chuvoso a 27°C no período menos chuvoso, alcançando máximos de 34°C nos meses de outubro e novembro. A mínima temperatura não chega a menos que 20,8°C (BASTOS et al, 2005).

Uma torre instrumentada de 3 metros de altura foi montada no centro da área contendo sensores meteorológicos (Tabela 1). Todos os sensores foram ligados a um datalogger CR10X (Campbell Scientific, Inc.) e a um multiplexador AM416 (Campbell Scientific, Inc.).

Tabela 1. Lista de instrumentos, alturas e medições da estação meteorológica automática instalada no experimento da soja

Variável meteorológica	Instrumento, fabricante (modelo)	Nível dos sensores
Radiação global incidente	<i>Pyranometers Kipp & Zonen (CMP3)</i>	2,45 (m)
Saldo de radiação	<i>NR Lite (Campbell Sci.)</i>	2,45 (m)
Temperatura do ar	<i>Vaisala thermohygrometer (HMP35A), PT100 resistors</i>	0,5; 1; 2 (m)
Umidade relativa do ar	<i>Vaisala thermohygrometer (HMP35A),</i>	0,5; 1; 2 (m)
Umidade do solo	<i>Soil Reflectometers (CS615)</i>	0 a 30 (cm de profundidade)
Velocidade do vento	<i>Cup Anemometers vector R.M. Young</i>	0,5; 1; 2 (m)
Chuva	<i>Rain gauge (TB4)</i>	3,9 (m)
Fluxo de calor no solo	<i>Flux plates Hukseflux (HFP01SC-L)</i>	10; 10 (cm de profundidade)

Seguindo recomendações de Farias et al. (2007), a análise do desenvolvimento e crescimento da soja foi feita diariamente usando a classificação dos estádios proposta por

Fehr & Caviness (1977) em um experimento inteiramente casualizado, com quatro repetições. A análise da área foliar se deu pela amostragem aleatória de plantas nas linhas do plantio. Para isso, um conjunto de plantas foi coletado em um metro de comprimento da linha contendo seis repetições a cada amostragem. A área foliar foi obtida por meio de coleta de 30 discos foliares por repetição e estimada de acordo com a metodologia proposta por Benincasa (2003) (SOUZA et al., 2010). O índice de área foliar (IAF) foi então estimado considerando estas medidas e o peso seco das folhas amostradas.

A evapotranspiração real da cultura (ET_c) foi obtida pelo método do balanço de energia por intermédio da razão de Bowen (β), em função do fluxo de calor latente entre a superfície e a atmosfera (LE), equação 1:

$$ET_c = \frac{LE}{\lambda} \quad (1)$$

em que: LE - energia consumida na evapotranspiração no intervalo de tempo estabelecido, λ - o calor latente de evaporação ($J\ kg^{-1}$), obtido por meio da equação 2:

$$\lambda = [(2,501 \times 10^6) - (2,361 \times 10^3 T)] \quad (2)$$

Seguindo recomendações de Arya (2001), o componente LE foi obtido por meio da razão de Bowen (β) medida através das relações do transporte vertical de calor e vapor d'água, assumindo que exista igualdade nos coeficientes de transporte turbulento (K_H e K_{LE}), Equações 3 e 4:

$$LE = \frac{Rn - G}{(1 + \beta)} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{C_p \Delta T}{\lambda \Delta q} = \frac{C_p P}{\lambda \cdot 0,622} \frac{\Delta T}{\Delta e} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (4)$$

em que: λ é o calor latente de evaporação ($J\ kg^{-1}$), c_p o calor específico do ar ($1013\ J\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$), q a umidade específica ($g\ m^{-3}$), $\gamma = \frac{c_p \cdot P}{0,622 \cdot \lambda}$ o coeficiente psicrométrico ($Kpa\ ^\circ C^{-1}$), P a pressão atmosférica (KPa), ΔT ($^\circ C$) e Δe (KPa) são ambos a diferença da temperatura do ar e da pressão de vapor d'água entre dois níveis consecutivos, respectivamente.

De modo a evitar problemas associados ao efeito de áreas adjacentes nas medidas, os instrumentos foram instalados com suficiente bordadura na direção predominante do vento (de 900 a 1000 m), obedecendo a razão sugerida de 1:100 (SOUZA et al., 2011a). Ainda de acordo com o recomendado por estes autores, o nível dos sensores foi alterado frequentemente com o crescimento da cultura, mantendo-se sempre o mesmo intervalo do perfil vertical (0,5-2m), de modo a garantir que os mesmos permanecessem dentro da camada limite de equilíbrio.

Para eliminação de dados não confiáveis, adotou-se a metodologia proposta por Perez et al. (1999), para a análise da consistência dos dados gerados pela razão de Bowen em função dos sinais observados na relação fluxo-gradiente entre os componentes e de quais valores de β

próximos de -1 poderiam ser desprezados, baseado na precisão das medidas de temperatura e umidade do ar, as quais, segundo Souza et al., (2012) foram para o tipo de sensor usado, $\pm 0,2$ °C e $\pm 2\%$ para a temperatura ($\delta\Delta T$) e umidade relativa do ar ($\delta\Delta e$), respectivamente. A evapotranspiração real da soja foi então obtida pela soma dos valores positivos de LE no intervalo de 06 e 18 horas.

O déficit de pressão de vapor foi usado nas análises e foi calculado pela diferença entre a pressão de saturação de vapor d'água e a pressão atual de vapor d'água entre as 10 e 15 horas local. Utilizou-se o fator de desacoplamento proposto por Jarvis & McNaughton (SILVA et al., 2012) a fim de se avaliar a sensibilidade da evapotranspiração da soja em função do controle climático e biológico para o mesmo período, conforme a Equação 5:

$$\Omega = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta + \gamma \cdot (1 + g_a / g_c)} \quad (5)$$

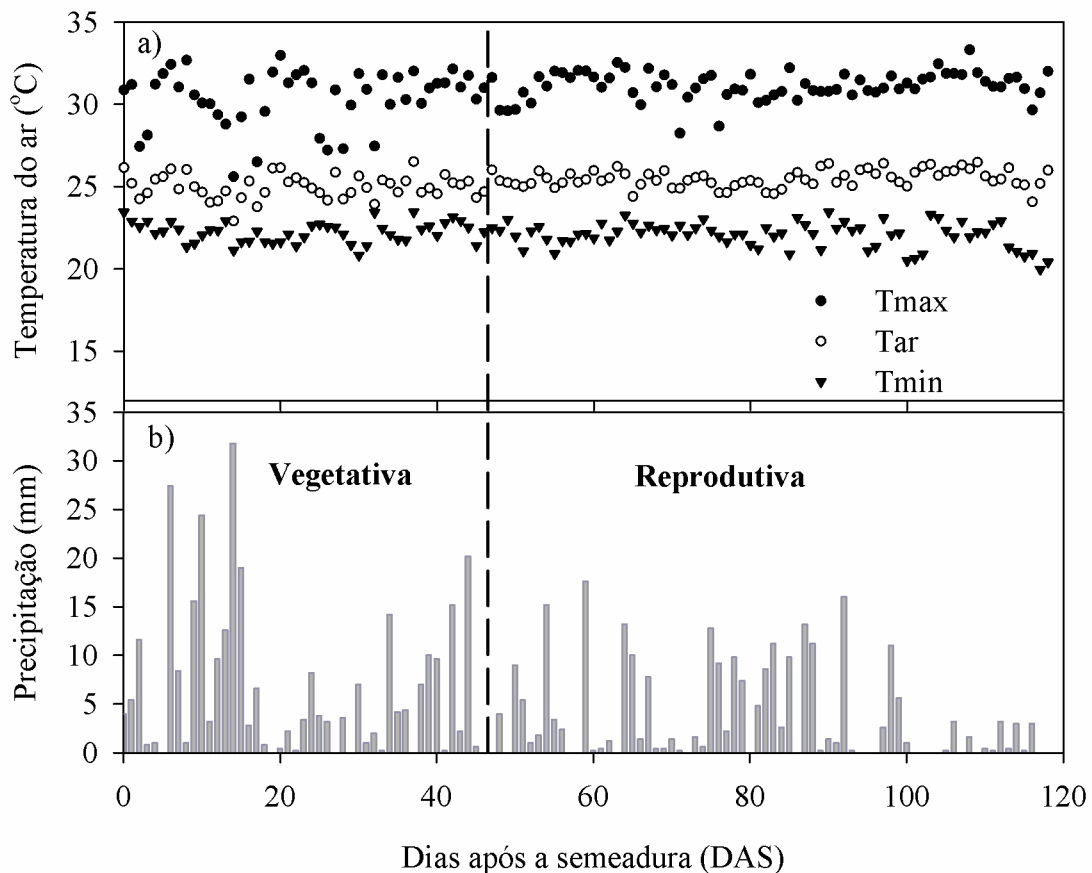
em que: Δ ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) é a declividade da curva de pressão de saturação do vapor versus a temperatura; g_a e g_c são as condutâncias aerodinâmicas (m s^{-1}) e da superfície (m s^{-1}), respectivamente.

A condutância aerodinâmica foi estimada de acordo com Allen et al (1998) e a condutância da superfície estimada através da resistência estomática foliar (r_c) da soja (SOUZA et al., 2011b).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

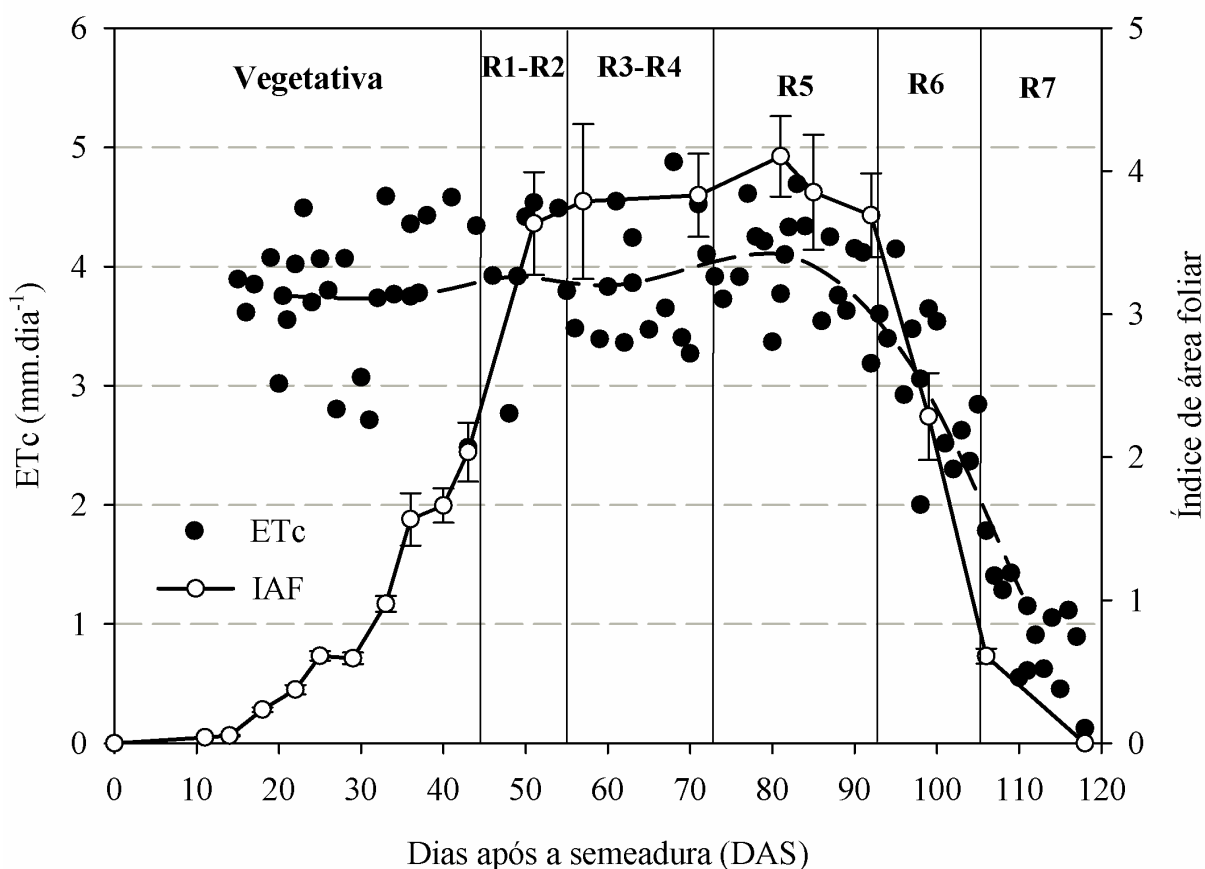
Durante o período de crescimento da soja, a temperatura do ar manteve-se sempre próxima ou abaixo da média climática da região (BASTOS et al., 2005), com máximos de até 33°C (Figura 1). O regime de chuvas observado durante os meses do experimento ficou 51% abaixo da média histórica (1.449,4 mm) para janeiro e junho (BASTOS et al., 2005) apresentando total de 710 mm, dos quais 410 mm ocorreram dentro do ciclo da soja. Ressalta-se, porém que mesmo com esta redução na quantidade de chuvas, o volume total durante o crescimento da soja esteve próximo da necessidade mínima para todo o ciclo da cultura (FARIAS et al., 2007).

Figura 1. Condições meteorológicas ao longo do ciclo de produção da soja em 2007. Regime térmico (a) e regime hídrico (b). A linha tracejada indica a ocorrência do florescimento.



A Figura 2 apresenta a perda de água pela cultura da soja e a mudança no IAF ao longo de seu ciclo. O índice de área foliar (IAF) máximo encontrado foi de 4,1 aos 85 dias após a semeadura (DAS), mantendo-se próximo deste valor durante grande parte do subperíodo reprodutivo (Figura 2). Este valor foi inferior aos já reportados na literatura em outros locais do Brasil (TOLEDO et al, 2010) e pode ter sido influenciado pela redução no volume de chuvas. Fontana et al. (1992) e Thomas & Costa (1994) também observaram importantes reduções no IAF da soja atribuídas ao déficit hídrico. A redução da área foliar na soja pode ser interpretada como um mecanismo de tolerância à seca, funcionando como uma estratégia para reduzir a perda de água (OYA et al., 2004).

Muchow & Sinclair (1986) observaram que a redução no IAF da soja ocasiona uma diminuição na taxa de evapotranspiração, a fim de manter tanto a retirada de água do solo como a taxa de fixação de nitrogênio em níveis satisfatórios para não comprometer o seu rendimento. Suyker & Verma (2009) verificaram durante dois ciclos da cultura (2002 e 2004) picos de IAF para a soja de 4,4 e 5,7 quando irrigada via pivô central, e de 3,1 e 4,4 quando em sequeiro, respectivamente.

Figura 2. Variabilidade da evapotranspiração real da soja.

Observa-se que mesmo antes do florescimento da soja a evapotranspiração se manteve em níveis elevados com valores diários oscilando entre 2,8 e 4,5 mm. Estes valores, porém, apresentam uma considerável contribuição da evaporação da água do solo uma vez que neste período a disponibilidade de água e de energia era elevada. Sauer et al. (2007) encontraram evapotranspiração média para a fase inicial da soja nos Estados Unidos da América de 4,9 mm dia⁻¹, quando a mesma apresentava IAF igual a 1,86, sendo que 65% da ET correspondiam à transpiração. Mesmo com IAF em torno de 1, a área com plantio de soja já apresentava evapotranspiração média de 3,8 mm.

O máximo consumo de água acompanhou a tendência do aumento no IAF, ocorrendo entre o período de florescimento e enchimento de grãos, estando estes resultados de acordo com a maioria dos trabalhos já realizados com soja (BERLATO et al., 1986; SAKURATANI, 1987; SAUER et al., 2007; SUYKER & VERMA, 2008; PAYERO; IRMAK, 2013).

A máxima evapotranspiração real da cultura ocorreu durante o período de enchimento de grãos, com valor médio para a fase de 4,1±0,4 mm.dia⁻¹. Berlato et al., (1986) observaram para a soja cultivada no Rio Grande do Sul evapotranspiração máxima de 7,5 mm.dia⁻¹ durante este estágio fenológico. Suyker & Verma (2008) obtiveram picos de evapotranspiração máxima da cultura de 7,3 e de 6,5 mm.dia⁻¹ para a soja com IAF máximo de 5,7 e 4,4, respectivamente.

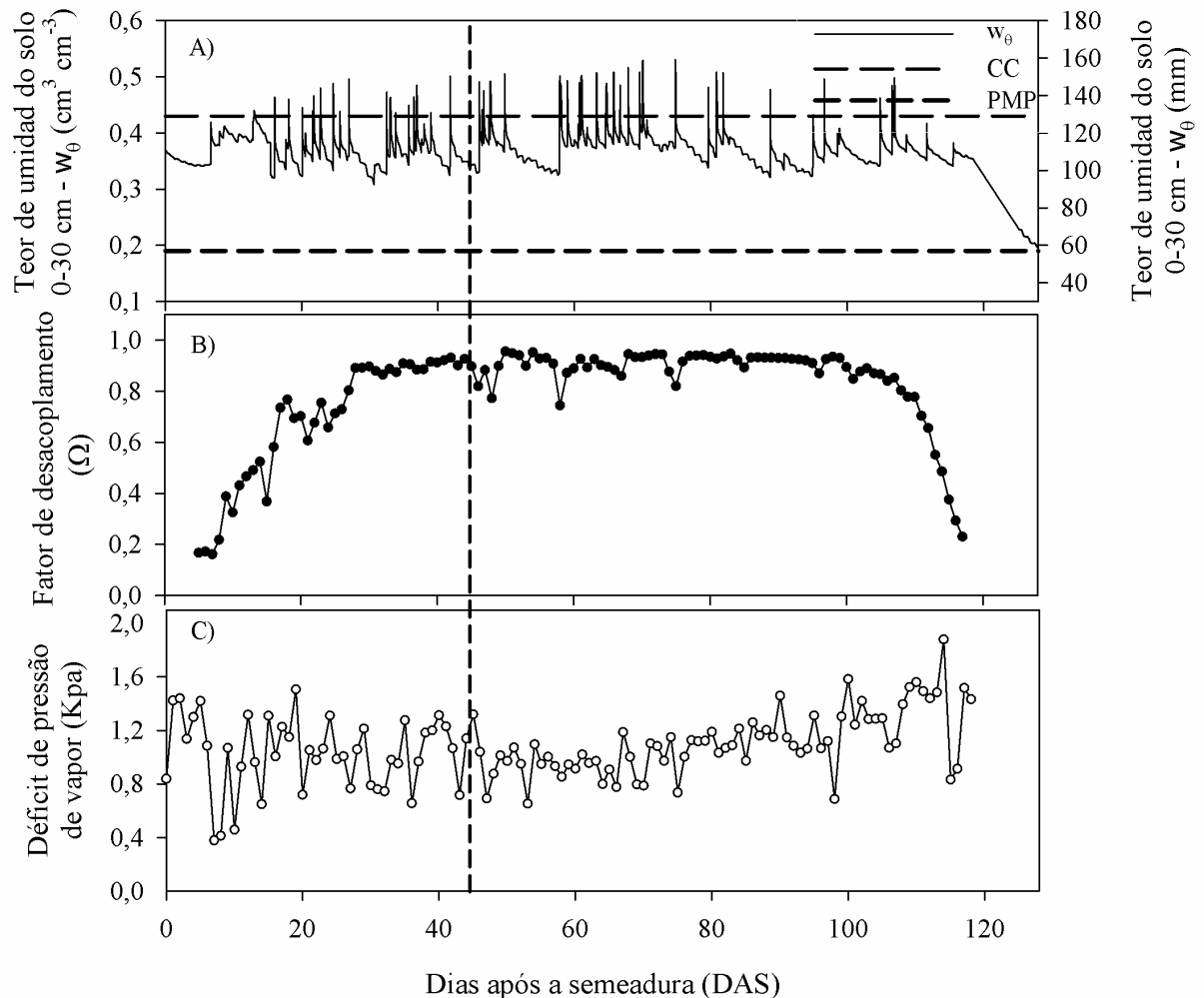
As diferenças observadas entre os resultados encontrados e os dos autores citados ocorrem devido a evapotranspiração ser influenciada não apenas pela disponibilidade de água,

demanda atmosférica e energia disponível como também pelo IAF (SAKURATANI, 1987). Suiker & Verma (2008) sugerem um limite no IAF da soja entre 3 e 4 a partir do qual a evapotranspiração deixa de sofrer efeito direto da cobertura foliar, explicado pelo fato de não haver aumento relativo na interceptação da radiação.

A Figura 3 apresenta a variabilidade temporal do conteúdo médio de umidade no solo entre 0 e 30 cm de profundidade, do déficit de pressão de vapor d'água e do fator de desacoplamento ao longo do ciclo. Nota-se na Figura 3 que os fatores climáticos afetaram diretamente a evapotranspiração da soja no nordeste Paraense, em especial durante o período vegetativo. Fatores como elevada disponibilidade de água e maior demanda atmosférica nesta fase, como ilustrado na Figura 3A e 3C, parecem ter mantido a perda de água a níveis elevados mesmo com baixo IAF. Tais resultados, embora com diferentes magnitudes, estão de acordo com os encontrados por Berlato et al. (1986), os quais verificaram uma evapotranspiração média entre a fase V2 e o florescimento da soja de $6,3 \text{ mm.dia}^{-1}$, e com os resultados obtidos por Sauer et al. (2007) para a fase inicial da soja nos EUA, ambos no período vegetativo.

Observa-se ainda na figura 3 que durante todo o ciclo cultural da soja a quantidade de água no solo esteve próxima da capacidade de campo do local ultrapassando rapidamente este valor durante os eventos de chuva (Figura 3A). Apesar da redução observada nas chuvas comparado com a média climatológica, o volume de água ofertado foi suficiente para manter o solo próximo a capacidade de campo durante quase todo o ciclo.

Figura 3. Variação temporal do conteúdo de umidade no solo (a), e da média ao meio dia do fator de desacoplamento (b) e do déficit de pressão de vapor (c) durante o ciclo da soja. A média ao dia representa o intervalo entre 10 e 15 horas local. A linha tracejada indica a ocorrência do florescimento.



Mesmo com fechamento incompleto do dossel, a evapotranspiração média neste período foi de 3,7 mm.dia⁻¹ (Tabela 2). Tais resultados sugerem que durante este período (IAF <1) pode ter havido contribuição da evaporação na perda de água pela superfície. Entretanto, resultados de Sakuratani (1987) indicam que a transpiração na soja chega a representar mais que 50% do processo, mesmo com IAF próximo de 1, particularmente em casos com diminuição no conteúdo de água do solo, onde a evaporação é rapidamente afetada. Sauer et al. (2007) encontraram uma transpiração da soja de 3,2 mm, a qual representou 65% da evapotranspiração medida quando a mesma apresentava IAF de 1,86.

Tabela 2. Média diária da evapotranspiração da soja (ETc), do índice de área foliar (IAF), do déficit de pressão de vapor d'água (DPV), do saldo de radiação (Rn), da fração de energia para o calor latente (LE/Rn) e da precipitação (Prp) em diferentes fases da cultura na Amazônia.

Fases	ETc (mm.d ⁻¹)	IAF	DPV diurno (kPa)	Rn (MJ m ⁻² d ⁻¹)	LE/Rn	Prp total (mm)	ETc total (mm)
V1-V5	3,75±0,47	0,32	0,73	11,46(±0,61)	0,82	91,0	59,19
V5-Vn	3,74±0,77	1,36	0,72	11,39(±0,82)	0,83	60,4	62,12
R1-R2	3,92±0,65	3,63	0,70	11,06(±0,82)	0,83	36	56,24
R3-R4	3,86±0,52	3,81	0,65	10,97(±0,47)	0,81	105,2	41,39
R5	4,10±0,38	3,98	0,80	11,69(±0,47)	0,82	43,8	61,34
R6	3,05±0,67	2,99	0,89	11,13(±0,39)	0,67	17,8	39,72
R7-R8	1,15±0,64	0,20	0,96	11,45(±0,27)	0,21	23,4	14,95

Analisando o fator de desacoplamento (Ω) apresentado na figura 3B, percebe-se que até em torno dos 28 DAS, os baixos valores de Ω sugerem haver um maior controle estomático no processo de evapotranspiração, indicando haver maior contribuição da evaporação do solo do que da transpiração. Este controle estomático parece diminuir com o aumento do IAF, como pode se observar após os 28 DAS, quando o IAF da soja se aproxima da unidade (IAF>1 aos 33 DAS), indicando que com o fechamento do dossel, o processo de transpiração supera a evaporação diretamente do solo, conforme também observado por Sakuratani (1987).

Após os 30 DAS, os valores de Ω demonstram que o dossel da soja se encontra totalmente desacoplado da atmosfera, sendo a evapotranspiração influenciada diretamente pela energia disponível uma vez que a elevada quantidade de água manteve a condutância estomática foliar em níveis elevados durante o experimento (SOUZA et al., 2011a). Sakai et al (2004) obtiveram resultados semelhantes para o cultivo do arroz na região de Santarém, no Pará, onde a evapotranspiração se manteve controlada pela componente radiativa. Em alguns casos a partir do florescimento (45-58-75 DAS), nota-se que após uma leve redução no conteúdo de água do solo o controle estomático apresenta certa importância na evapotranspiração (Figura 3A e 3B).

Estes resultados demonstram que a limitação da evapotranspiração real da cultura em valores máximos próximos de 4 mm.dia⁻¹, pode ter sido causada pela redução na produção de área foliar. Berlato et al. (1986), Sauer et al. (2007) e Suyker & Verma (2008) observaram valores máximos de evapotranspiração da soja variando entre 4,9 e 7,5 mm.dia⁻¹ para valores de IAF variando entre 4,4 e 5,7. A partir da fase V5 até o início da frutificação, nota-se que o volume de água perdido em cada subperíodo esteve levemente acima ou abaixo do volume de chuvas, o que pode ter inibido a formação de área foliar, corroborando esta hipótese.

O consumo total de água pela soja desde a fase V1 até a colheita foi de 335 mm com um total de chuva de 377 mm no mesmo período (Tabela 2). Suyker & Verma (2009) obtiveram, em um experimento sob condições naturais de campo, um consumo total de água pela soja desde a semeadura até a sua colheita de 420 mm, com IAF máximo de 4,4 e total de chuva de 311 mm. No mesmo ano, os autores obtiveram com o uso de irrigação via pivô central um consumo um pouco maior pela soja (430 mm) apesar do máximo IAF não ter sido diferente (4,4) e o volume de água (chuva + irrigação) ter sido maior (443 mm).

Estes resultados sugerem que a evapotranspiração da soja nesta região de estudo poderia ter sido maior no ano de 2007 se não houvesse a inibição de área foliar uma vez que a quantidade de água nesta época do ano na região não é climatologicamente limitante a julgar

pelo regime hídrico apresentado, que mesmo sendo um ano com chuvas abaixo da média, a distribuição regular da mesma ao longo do ciclo manteve a oferta de água no solo em níveis próximos da capacidade de campo. A redução no total de chuvas em 2007 comparado com a climatologia pode ter sido causada por uma anomalia positiva na temperatura da superfície do oceano Pacífico observada entre outubro de 2006 e abril de 2007, indicando a ocorrência do fenômeno El Niño (SOUZA et al., 2013). Em outros anos, a produção de área foliar da soja apresentou variabilidade diferenciada, com máximo IAF de até 6,5 (SOUZA et al., 2010).

A partir da fase de enchimento pleno do grão (R6) ocorre um rápido declínio na evapotranspiração, atingindo valores abaixo de 1 mm.dia⁻¹ próximo da colheita. Esta característica também foi observada por Suyker & Verma (2008), quando encontraram valores de evapotranspiração na soja da ordem de 1 a 2 mm.dia⁻¹ causada pelo processo de senescência. Sauer et al. (2007) também identificaram o mesmo padrão durante o período de senescência do dossel, com evapotranspiração da soja da ordem de 1,1 mm.dia⁻¹, correspondendo a apenas 30% do saldo de energia no período, enquanto neste experimento o uso da energia na evapotranspiração foi de apenas 21% nesta fase.

6 CONCLUSÃO

A cultura da soja no nordeste do Pará (Amazônia Oriental) apresentou um consumo máximo de água durante o período reprodutivo, com pico máximo de 4,1 mm dia⁻¹ durante a fase de enchimento de grãos.

Durante o período vegetativo a perda de água pela cobertura vegetal ocorreu em taxas elevadas, mesmo havendo menor área foliar. Isso pode ser atribuído devido à elevada oferta de água proveniente do regime de chuvas e de energia solar na região, influenciando a evaporação da água do solo.

A redução da área foliar observada no ano de 2007 pode ter sido a responsável por manter a evapotranspiração da soja próxima de 4 mm.dia⁻¹.

7 REFERÊNCIAS

ALBERTO, C.M.; STRECK, N.A.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; MEDEIROS, S.L.P. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1067-1075, 2006.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. Rome, 301p. 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

ARYA, S. P. **Introduction to Micrometeorology**. New York, Academic Press, 420p, 2001.
BASTOS, T.X.; PACHECO, N.A.; FIGUEIREDO, R.O.; SILVA, G.F.G. **Características agroclimáticas do município de Paragominas**. Belém, 2005, 24p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos 228).

BERLATO, M.A., MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja, relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque “classe A” e radiação solar global. **Agronomia Sulriogradense**, Porto Alegre, v.22, n.2, p.243-259, 1986.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra Brasileira, v.1 - 2013/2014**, n.12, 127p, Setembro /2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de Soja-região central do Brasil 2014**. Londrina, 2013a. 265p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção 16).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013b. 353 p.

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

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p. 415-421, 2001.

FONTANA, D.C., BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 27, n. 5, p. 661-669, 1992.

MOREIRA, V.S.; ROBERTI, D.R.; TIMM, A.U.; WEBLER, G.; DEGRAZIA, G.A. Análise da evapotranspiração e índice de área foliar numa cultura de soja sob dois diferentes sistemas de manejo. **Ciência e Natura**, Santa Maria, Edição especial, Dez., p.373-375, 2013.

MUCHOW R.C., SINCLAIR, T.R. Water and nitrogen limitations in soybean grain production. II. Field and model analyses. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 15, p. 143–156, 1986.

ORTEGA-FARIAS, S.; CUENCA, R.H.; EK, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.81, p.131-143, 1996.

OYA, T., NEPOMUCENO, A.L., NEUMAIER, N., FARIAS, J.R.B., TOBITA, S.; ITO, O. Drought tolerance characteristics of Brazilian soybean cultivars – Evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field. **Plant Production Science**, Tokio, v.7, n.2, p.129-137, 2004.

PAYERO, J.O.; IRMAK, S. Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coefficient of soybean. **Agricultural water management**, New York, v.129, p.31-43, 2013.

PEREZ, P.J.; CASTELLVI, F.; IBÁÑEZ, M.; ROSELL, J.I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.97, p.141-150, 1999.

SAKAI, R.K.; FITZJARRALD, D.R.; MORAES, O.L.L.; STAEBLER, R.M.; ACEVEDO, O.C.; CZIKOWSKY, M.J.; SILVA, R.; BRAIT, E.; MIRANDA, V. Land-use change effects on local energy, water, and carbon balances in an Amazonian agricultural Field. **Global Change Biology**, Malden, v.10, p.895-907, 2004.

SAKURATANI, T. Separate estimation of transpiration and evaporation from soybean field without water shortage. **Journal of Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.42, p.309-317, 1987.

SAUER, T.J.; SINGER, J.W.; PRUEGER, J.H.; DESUTTER, T.M.; HATFILED, J.L. radiation balance and evaporation partitioning in a narrow-row soybean canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.145, p.206-214, 2007.

SCHOFFEL, E.R.; SACCOL, A.V.; MANFRON, P.A.; Medeiros, S.L.P. Excesso hídrico sobre os componentes de rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.7-72, 2001.

SCHOFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Contribuição relativa da temperatura do ar no desenvolvimento de três cultivares de soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.2, p.97-104, 2002.

SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; MOURA, M.S.B.; CARMO, J.F.A.; RIBEIRO, A. Fator de desacoplamento em um canal irrigado no submédio do vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.8, p. 849-858, 2012.

SOUZA, P.J.O.P.; RIBEIRO, ROCHA, E.J.P.; LOUREIRO, R.S.; BISPO, C.J.C.; SOUSA, A.L.M. Albedo da cultura da soja em área de avanço da fronteira agrícola na Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola em Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.65-73, 2010.

SOUZA, P.J.O.P.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E.J.P.; BOTELHO, M.N.; SOUSA, A.M.L.; SOUZA, E.B.; FARIAS, J.R.B. Impacts of soybean expansion on the Amazon energy balance: a case study. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v.43, p.553-567, 2011a.

SOUZA, P.J.O.P.; FARIAS, J.R.B.; MELO-ABREU, J.P.M.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E.J.P.; BOTELHO, M.N.; SOUSA, A.L.M. Simulation of soybean growth and yield under northeastern Amazon climatic conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.6, p.567-577, 2011b.

SOUZA, P.J.O.P.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E.J.P.; FARIAS, J.R.B.; SOUZA, E.B. Sazonalidade no balanço de energia em áreas de cultivo de soja na Amazônia. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n.4, p.548-557, 2012.

SOUZA, P. J. O. P.; SOUZA, A. M. L.; SAMPAIO, L. S. Soybean development and thermal requirement under the climatic conditions of Paragominas, Pará state, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n. 4, p. 371-375, 2013.

SUYKER, A.E.; VERMA, S.B. Interannual water vapor and energy exchange in an irrigated maize-based agroecosystem. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, 148:417-427, 2008.

SUYKER, A.E.; VERMA, S.B. Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize-soybean cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.149, p.443-452, 2009.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. Influencia do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, p.1389-1396, 1994.

TOLEDO, N.T.; MULLER, A.G.; BERTO, J.L.; MALLMANN, 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, p.288-295, 2010.