

**FLUXOS DE CARBONO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE FEIJÃO COMUM SOB CONDIÇÕES DE SEQUEIRO**

Apolo Alves Ribeiro¹, José Romualdo de Sousa Lima², Rodolfo Marcondes Silva Souza³, Antonio Celso Dantas Antonino⁴ & Eduardo Soares de Souza⁵

1 - Agrônomo, Mestre em Produção Agrícola na UAG/UFRPE/Garanhuns-PE, apolo_alves@hotmail.com

2 - Agrônomo, Professor Associado da UAG/UFRPE/Garanhuns-PE, romualdo.lima@ufrpe.br

3 - Agrônomo, Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares na UFPE/Recife-PE, rodolfomssouza@gmail.com

4 - Engenheiro Civil, Professor Titular do DEN/UFPE/Recife-PE, acdantonino@gmail.com

5 - Agrônomo, Professor Associado da UAST/UFRPE/Serra Talhada-PE, eduardo.souza.rd@gmail.com

Palavras-chave:

fluxo de calor latente

Phaseolus vulgaris

saldo de radiação

RESUMO

Os fluxos de carbono (CO₂) e a evapotranspiração (ET) são processos fundamentais relacionados ao sequestro de carbono e vêm sendo medidos em diversos ecossistemas mundiais. Apesar da cultura do feijão ter grande importância econômica e social, nenhuma pesquisa medindo esses fluxos foi realizada nas condições semiáridas do agreste pernambucano. Assim, no presente trabalho, objetivou-se determinar os fluxos de CO₂ e a ET do feijão em condições de sequeiro. O estudo foi realizado no município de São João-PE (8° 51' 17,9" S, 36° 22' 48" O e altitude de 694 m), durante o período de 31/05 (13 dias após o plantio) a 20/08/2013 (12 dias após a colheita), sendo os fluxos de carbono, água e energia determinados pelo método da correlação dos turbilhões. Também foram medidos o índice de área foliar (IAF) e a biomassa aérea do feijão. Verificou-se que a maior parte (69%) do saldo de radiação foi usada como fluxo de calor latente. Em relação à ET, observou-se que o valor total durante todo período experimental foi de 179,3 mm, com média de 2,2 mm d⁻¹. Os fluxos de CO₂ variaram de -0,75 a -11,21 μmol m⁻² s⁻¹, indicando a ocorrência de sequestro de carbono pela cultura. A cultura sequestrou 49 kg de C ha⁻¹ d⁻¹, o equivalente a 4,0 t de C ha⁻¹ durante o período experimental.

Keywords:

latent heat flux

Phaseolus vulgaris

net radiation

CARBON FLUXES AND BEAN EVAPOTRANSPIRATION UNDER RAINFED**ABSTRACT**

The carbon fluxes (CO₂) and evapotranspiration (ET) are fundamental processes related to carbon sequestration and they have been measured in various global ecosystems. The bean crop has a great economic and social importance; however, none study measured the CO₂ fluxes and ET in the rural semiarid region of Pernambuco state. Thus, this study aimed to determine CO₂ fluxes and ET of bean crop in rainfed conditions. The study was conducted in São João (8° 51' 17.9" S, 36° 22' 48" W and 694 m), Pernambuco, during the period from 05/31/2013 (13 days after sowing) to 08/20/2013 (12 days after the harvest). In order to determine the CO₂ fluxes and ET, it was used the eddy covariance method. The leaf area index (LAI) and biomass were also measured. The major part of Rn (69%) was used as latent heat flux. In relation to ET, it was observed that the total value was 179.3 mm, with an average of 2.2 mm d⁻¹. The CO₂ fluxes varied from -11.21 to -0.75 μmol m⁻² s⁻¹, indicating the occurrence of carbon sequestration by the crop. The crop bean sequestered 49 kg C ha⁻¹ per day, the equivalent to 4.0 t C ha⁻¹ during the trial period.

INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) ocupa lugar de destaque na agricultura brasileira, tendo impacto relevante no mercado interno, com grãos que representam importante fonte de proteínas e minerais na dieta da população, além de possuir importância socioeconômica (CARVALHO *et al.*, 2014).

A produção nacional de feijão na safra de 2016/2017 foi de 3,4 milhões de toneladas, com área plantada de 3,18 milhões de hectares e produtividade média de 1.069 kg ha⁻¹. No estado de Pernambuco, produziram-se em torno de 58,0 mil toneladas de feijão, com área plantada de 186,1 mil hectares, posicionando-se como quarto maior produtor nordestino (CONAB, 2018).

De acordo com ANGELOTTI *et al.* (2011), regiões onde grande parte da população desenvolve atividades agrícolas, como a agricultura de sequeiro (como é o caso do cultivo do feijão no estado de Pernambuco), com baixo grau de tecnificação e elevada dependência do regime pluviométrico, estão sujeitas aos potenciais impactos negativos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e suas consequências na agricultura de sequeiro.

No contexto das mudanças climáticas globais, estudos que quantifiquem os fluxos de carbono (CO₂), de água e de energia e, conseqüentemente, a evapotranspiração (ET) de florestas, de pastagens e de culturas agrícolas são de elevada importância, uma vez que esses fluxos permitem compreender os mecanismos ambientais que controlam o ciclo do carbono. Esses estudos também podem fornecer dados para que tomadores de decisão possam definir melhores estratégias de adaptação das culturas frente às mudanças climáticas globais.

Diante dessa importância, os fluxos de CO₂, de água e de energia vêm sendo medidos em vários ecossistemas e agroecossistemas no Brasil e no mundo (HERNANDEZ-RAMIREZ *et al.*, 2011; LIMA *et al.*, 2011; BAI *et al.*, 2012; KIM *et al.*, 2012; QUN & HUIZHI, 2013; GONDIM *et al.*, 2015; MACHADO *et al.*, 2016). No entanto, apesar da grande importância econômica e social da cultura do feijão para o Brasil e bem como para a região nordestina, existem poucos estudos medindo simultaneamente os fluxos de CO₂ e

evapotranspiração dessa cultura, especialmente em regiões áridas e semiáridas, e, até o momento, nenhum estudo foi realizado na região agreste semiárida do estado de Pernambuco. Desse modo, o presente trabalho objetivou determinar os fluxos de CO₂ e de energia (saldo de radiação, fluxos de calor latente, de calor sensível e de calor no solo), bem como a evapotranspiração do feijão comum em condições de sequeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em uma área de 3,5 ha cultivada com feijão comum, no Sítio Várzea do Barro, situado no município de São João, na mesorregião do agreste meridional do estado de Pernambuco (8° 51' 17,9" S, 36° 22' 48" O e altitude de 694 m). A região apresenta clima tropical chuvoso, com verão seco e estação chuvosa compreendida nos meses de maio a agosto (ALVARES *et al.*, 2013). De acordo com os dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2016), a precipitação pluvial média anual é de 782 mm. O solo da área é classificado como Neossolo Regolítico eutrófico típico (SANTOS *et al.*, 2012).

Antes do plantio, foi efetuada uma adubação orgânica, aplicando-se 6 t ha⁻¹ de cama de aviário. O plantio foi realizado manualmente, por meio de matracas, no espaçamento de 0,70 x 0,50 m, sendo colocadas cinco sementes por cova da cultivar "Campeão II", que é a mais plantada na região. Durante as etapas de desenvolvimento da cultura, houve somente uma intervenção para controle de plantas daninhas, realizada aos 18 dias após o plantio, com herbicida seletivo (Fenoxaprop-p-etílico e Fomesafem). O período de coleta dos dados foi de 31/05/2013 (13 dias após o plantio) até 20/08/2013 (12 dias após a colheita).

As avaliações biométricas da cultura, sejam índice de área foliar (IAF) e biomassa aérea seca (BS), foram realizadas por meio de sete coletas no período de 31/05/2013 a 02/08/2013. Cada coleta foi composta por quatro amostragens de uma área de 0,70 x 0,70 m (0,49 m²). As plantas (parte aérea) contidas nessa área foram coletadas e levadas para o laboratório, onde determinou-se a área foliar, por meio de um medidor de área foliar (modelo LICOR – LI300). Com os dados dessa área (obtidos pelo medidor de área foliar) e da área ocupada pelas

plantas (0,49 m²), foi determinado o IAF. Logo, as amostras foram colocadas para secar em estufa a 65 °C por 72 horas e depois pesadas, para obtenção da BS.

Para as determinações da umidade volumétrica do solo (q , m³ m⁻³), foram instalados sensores automatizados tipo TDR (modelo CS 616 da Campbell Scientific Inc., USA) nas profundidades de 0,05; 0,25; 0,35 e 0,55 m. As leituras de cada sensor foram registradas a cada minuto, sendo realizada uma média dessas leituras a cada 30 minutos, e as mesmas foram armazenadas num sistema de aquisição de dados (modelo CR1000, Campbell Scientific Inc., USA). O armazenamento de água no solo (Armaz) na camada de 0-0,55 m foi calculado usando-se a regra do trapézio, de acordo com SILVA et al. (2014).

Para as medições meteorológicas, foi instalada, no centro da área, uma torre metálica para suporte de sensores eletrônicos de alta frequência, para medidas de turbulência, e instrumentos eletrônicos de baixa frequência, para aquisição dos valores de umidade relativa e temperatura do ar (modelo HMP45C, Vaisala, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA); radiação global (piranômetro, modelo LI-200X, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA); saldo de radiação (saldo radiômetro, modelo NRLITE, Kipp & Zonen, Delft, Netherlands); fluxo de calor no solo (fluxímetro, modelo HFT3, REBS, Seattle, WA, USA) e precipitação pluvial (pluviógrafo, modelo TE 525 WS-L, Texas Electronics, Dallas, TX, USA). Os dados desses sensores meteorológicos também foram registrados a cada minuto e seus valores médios e totais (precipitação pluvial) foram armazenados a cada 30 minutos, em um sistema de aquisição de dados (CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA).

As medidas de alta frequência dos componentes do vento, temperatura do ar e concentrações de vapor de água e de CO₂ foram realizadas com o sistema de correlação dos turbilhões, composto por um analisador de gás infravermelho, para medir os fluxos de CO₂ e água (EC 150, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA), e um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA) para medir o fluxo de calor sensível (H). A cada segundo foram obtidas 10 leituras desses sensores, sendo que os valores médios a cada 30 minutos foram armazenados numa central de aquisição de dados (CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA).

O cálculo dos fluxos de calor latente (LE),

sensível (H) e de dióxido de carbono (CO₂) foi realizado utilizando a técnica da correlação dos turbilhões, conforme a metodologia de AUBINET et al. (1999). Foi aplicada a rotação de coordenadas dos vetores de vento e correções de resposta de frequência, de acordo com o método descrito por Moore (1986), enquanto as correções das covariâncias e variâncias, devido às flutuações de umidade, foram realizadas de acordo com a metodologia de Schotanus et al. (1983).

Os fluxos turbulentos de H, LE e CO₂ foram determinados, respectivamente, por meio das Equações 1, 2 e 3:

$$H = \rho C_p \overline{w'T'} \quad (1)$$

$$LE = \rho L_v \overline{w'q'} \quad (2)$$

$$F_c = \rho \overline{w'r'_c} \quad (3)$$

em que,

H = fluxo de calor sensível, W m⁻²;

LE = fluxo de calor latente, W m⁻²;

F_c = fluxo de CO₂, mmol m⁻² s⁻¹;

w' = variação da componente vertical da velocidade do vento em relação à sua média;

T' = componente turbulenta da temperatura do ar, K;

q' = componente turbulenta da umidade específica do ar, kg kg⁻¹;

C_p = calor específico do ar à pressão constante, J kg⁻¹ K⁻¹;

L_v = calor latente de vaporização, J kg⁻¹;

r = densidade do ar seco, kg m⁻³ e

r'_c' = variação da densidade do escalar *c* em relação à sua média, sendo a barra horizontal sobre o produto a covariância entre w'r'_c', w'q' e w'T', respectivamente.

Após a obtenção dos fluxos de calor latente (LE) e calor sensível (H), foi feita a análise do fechamento do balanço de energia. Essa análise é necessária quando se trabalha com o método da correlação dos turbilhões, uma vez que os quatro termos (Rn, G, H e LE) do balanço de energia são medidos separadamente. O fechamento é feito por meio da relação entre a energia disponível (Rn-G) e a soma dos fluxos de calor latente e sensível (LE+H). Quanto maior for o coeficiente

de determinação no fechamento do balanço de energia, mais confiáveis são os dados de LE e de H, obtidos por esta metodologia.

A ET foi obtida dividindo-se o LE, em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, pelo calor latente de vaporização, considerado constante ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$) de acordo com Lima et al. (2011). Também foi determinada a evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith, de acordo com Allen et al. (1998).

Utilizaram-se valores de fluxos de CO_2 na cultura da soja para se comparar com os valores de fluxo de CO_2 do feijão, devido os estudos com fluxos atmosféricos de CO_2 em feijão serem escassos e também por causa da similaridade entre as culturas do feijão e da soja.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação diária da precipitação pluvial e do armazenamento de água no solo, na camada de 0-0,55 m, durante o período experimental é apresentada na Figura 1. Observa-se que ocorreram chuvas bem distribuídas, uma vez que dos 82 dias do período experimental ocorreram precipitações em 64 dias, apesar das mesmas apresentarem baixos valores diários. O maior valor de precipitação ocorreu no dia 04/07/2013 com 20,2 mm e o total do período experimental foi de 142 mm. Esse valor de precipitação pluvial correspondeu apenas a 40,2% do total esperado para esse período, de acordo com a Normal Climatológica da região (APAC, 2016).

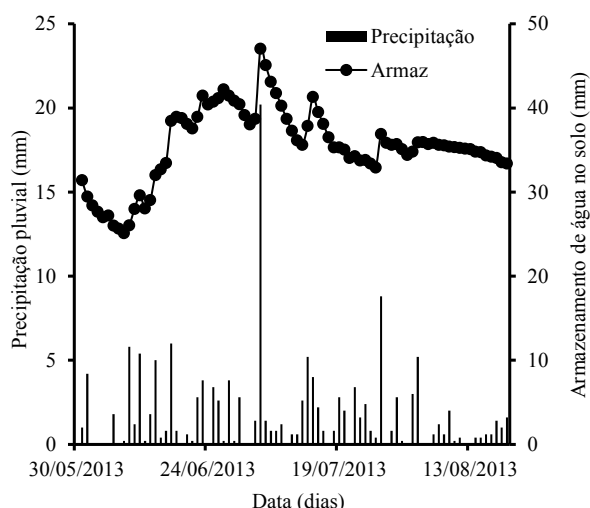


Figura 1. Precipitação pluvial e armazenamento de água no solo (Armaz) durante o período de 31/05/2013 a 20/08/2013 em São João, PE.

Com relação ao Armaz, verificou-se, como esperado, que o mesmo seguiu as variações da precipitação pluvial, com os valores mais elevados ocorrendo nos períodos de maior pluviosidade e vice-versa.

A biomassa seca (BS) e o IAF são apresentados na Figura 2. Os valores de BS apresentaram aumento até a última coleta, aos 77 dias após o plantio que corresponde ao dia 02/08/2013. Mesmo com a senescência e perda de massa foliar, houve um aumento da BS, explicado pelo acúmulo de biomassa seca na produção final (vagens e grãos). O maior valor de BS foi de 2.199 kg ha^{-1} , dos quais 2.050 kg ha^{-1} foram de grãos. A produtividade encontrada no presente trabalho representa 92% a mais que a média nacional de feijão na safra de 2016/2017, que foi de 1.069 kg ha^{-1} (CONAB, 2018).

Ressalta-se que, nos dados da CONAB (2018), não existe uma separação entre a produtividade do feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e a do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), fazendo com que ocorra uma diminuição da produtividade média nacional. O feijão caupi, geralmente, tem menor produtividade que o feijão comum, devido ser cultivado principalmente nos estados das regiões Norte e Nordeste, por pequenos agricultores e com baixo nível tecnológico (LIMA et al., 2011).

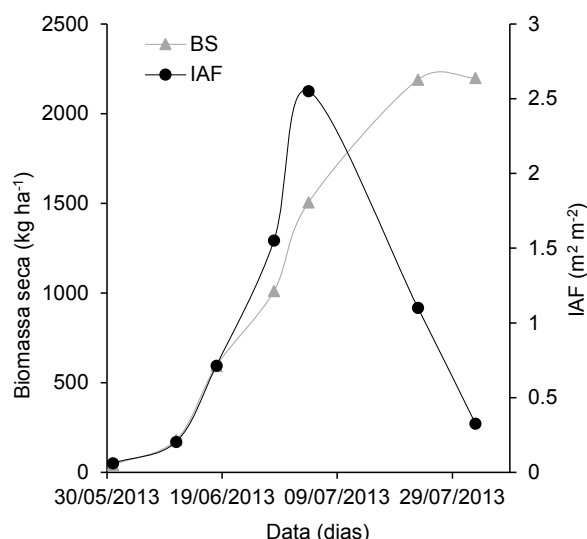


Figura 2. Biomassa seca (BS) e índice de área foliar (IAF) de feijão durante o período de 31/05/2013 a 02/08/2013 em São João, PE.

Em relação ao IAF, verificou-se um aumento dos valores até o dia 04/07/2013, apresentando o maior valor de $2,55 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para em seguida apresentar um decréscimo, devido à maturação dos frutos e à senescência. Esse comportamento do IAF é o normalmente encontrado em culturas de ciclo anual, onde ocorre um aumento da interferência das folhas superiores mais jovens sobre as inferiores (auto-sombreamento), causando uma redução na área fotossinteticamente útil (BENINCASA, 2003).

Na Figura 3, apresenta-se o fechamento do balanço de energia durante o período experimental.

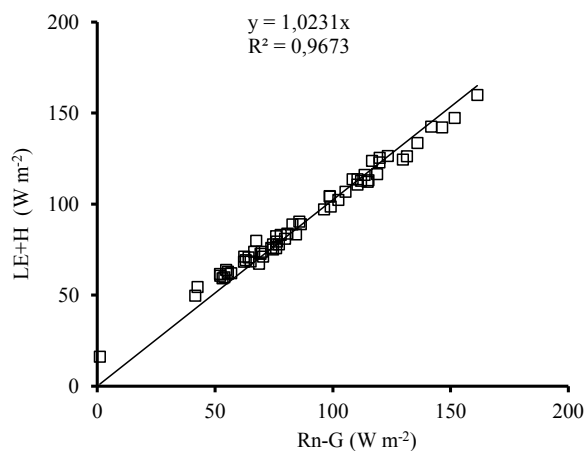


Figura 3. Fechamento do balanço de energia na cultura do feijão durante o período de 31/05/2013 a 20/08/2013 em São João, PE.

Nesta pesquisa foi encontrado um R^2 de 0,967, o que está bem acima do intervalo de valores encontrados por muitos pesquisadores, indicando que os dados de LE e H obtidos com o analisador de gás por infravermelho e anemômetro sônico, respectivamente, são confiáveis. Wilson et al. (2002) encontraram valores de R^2 variando de 0,53 a 0,99, em pesquisa realizada com dados de mais de 22 locais da rede FLUXNET (rede mundial que mede os fluxos de energia e de CO_2).

Na Figura 4A, são apresentados os valores diários da radiação global (Rg), do saldo de radiação (Rn) e do fluxo de calor latente (LE), enquanto na Figura 4B estão os valores dos fluxos de calor sensível (H) e no solo (G).

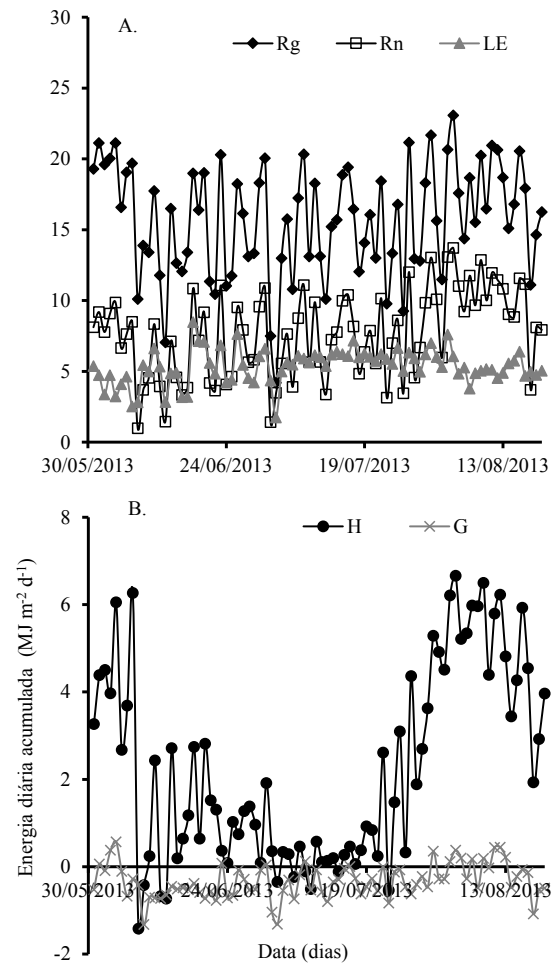


Figura 4. Variação diária da (A) radiação global (Rg), do saldo de radiação (Rn) e dos fluxos de calor latente (LE), (B) sensível (H) e no solo (G) durante o período de 31/05/2013 a 20/08/2013 em São João, PE.

Observou-se que a Rg variou de 4,21 a 23,08 $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, com valor médio de 15,72 $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$; já os valores do Rn oscilaram de 0,99 a 13,72 $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, com valor médio de 7,66 $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Figura 4A). Os valores do G praticamente não tiveram alterações, com valores muito reduzidos (Figura 4B).

Em relação ao LE, observou-se que seus valores variaram de 1,75 a 8,49 $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, com média de 5,36 $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Já a energia utilizada para o aquecimento do ar, ou seja, fluxo de calor sensível (H), apresentou valores bem menores que o LE, com valores máximo, mínimo e médio de 6,66; -1,42 e 2,25 $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. Observa-se ainda que o H aumentou a partir da maturação

fisiológica (24/07/2013), com os maiores valores na fase de senescência da colheita (04/08 a 20/08/2013). Nessas fases, esse aumento do H está relacionado com a redução das chuvas e colheita da cultura.

Lima *et al.* (2011), em cultivo de feijão caupi no Brejo Paraibano, também encontraram comportamento semelhante ao do H, sendo que a diminuição das chuvas durante a fase final do cultivo fez com que a energia disponível fosse utilizada preferencialmente no aquecimento do ar.

A partição do Rn em LE e H durante todo ciclo do feijão foi de 69% para LE (LE/Rn) e de 28% para o H (H/Rn). Essa partição indica que a maior parte do Rn foi usada nos processos de evaporação da água do solo e da transpiração do feijão, ou seja, foi usada no processo de evapotranspiração. Esses valores da razão LE/Rn são semelhantes aos obtidos por Lima *et al.* (2011), que mediram os fluxos de energia em feijão caupi e encontraram que, em média, 65% do Rn foi utilizada como LE. Logo, também em estudos com feijão caupi no estado do Pará, Neves *et al.* (2008) encontraram que durante todo o ciclo da cultura somente 28% do saldo de radiação (Rn) foi utilizado pelo fluxo de calor latente (LE). Os autores atribuíram esse fato à deficiência hídrica sofrida pela cultura.

A comparação de estudos da partição do Rn em LE e H vai apresentar algumas diferenças, as quais resultam, principalmente, das diferenças entre os locais em que foram realizadas as pesquisas, manejo cultural, condições climáticas e disponibilidade de água no solo. No entanto, a disponibilidade hídrica e as fases fenológicas das culturas são uns dos principais fatores que afetam a partição do Rn em LE e H.

Desse modo, na Figura 5 são apresentadas as variações horárias desses fluxos em dias, com diferentes condições de umidade do solo e fase fenológica. Observa-se no dia 07/07/2013 (Figura 5A) que o LE foi o principal consumidor do Rn, com valor de 69,6%, enquanto a energia direcionada ao H foi de 25,4%. Esses resultados mostram bem os processos que ocorrem durante a fase reprodutiva das culturas anuais, como o feijão, e que tenham condições de umidade do solo favoráveis. O maior valor de LE nessa fase ocorre devido a cultura usar a maior parte de suas reservas para a

floração e enchimento de vagens, retirando mais água do solo e, conseqüentemente, tendo maior evapotranspiração. Nesse dia, o armazenamento de água no solo estava em seu valor máximo, ao redor de 40 mm (Figura 1), e o IAF apresentava seu maior valor (Figura 2).

Contrariamente ao observado na fase reprodutiva, na fase de maturação fisiológica (Figura 5B), o H representou 55% do Rn. Isso ocorreu devido à diminuição das chuvas e conseqüentemente do armazenamento de água no solo (Figura 1), além da cultura se encontrar numa fase em que não usa mais água nos seus processos fisiológicos. Resultados semelhantes foram obtidos por Lima *et al.* (2011) em feijão caupi.

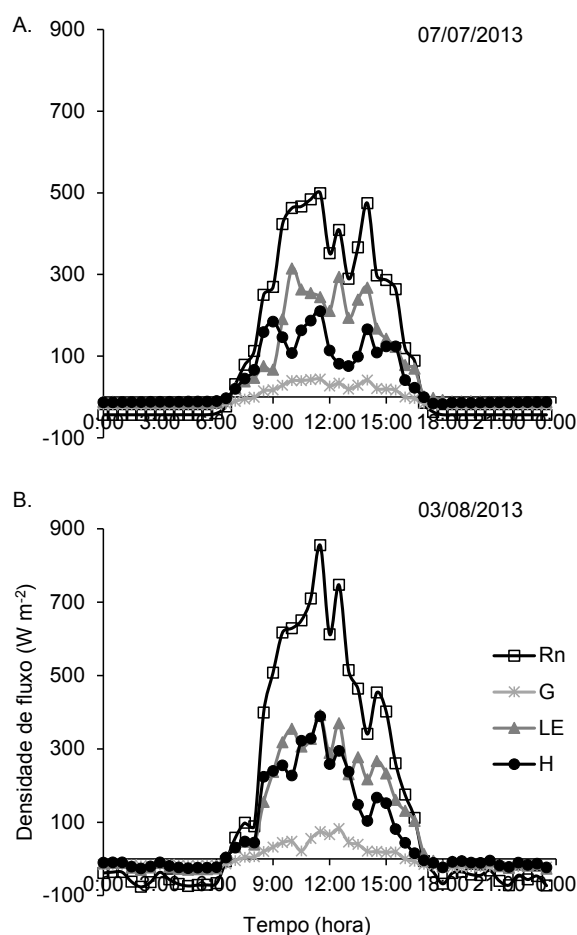


Figura 5. Variação horária dos fluxos de energia (Rn, LE, H e G), em dia representativo da fase reprodutiva (A) e da fase de maturação fisiológica (B) do feijão.

Na Figura 6, são apresentados os dados de evapotranspiração do feijão (ET) e

evapotranspiração de referência (ET_o). Os valores de ET variaram de 0,7 a 3,5 mm d⁻¹, com média de 2,2 mm d⁻¹, e valor total de 179,3 mm. Os menores valores de ET ocorreram nos dias mais chuvosos, pois nesses dias ocorrem menores valores de R_g e R_n (Figura 4A) e, com isso, os valores de ET tendem a diminuir. Já os valores mais elevados ocorrem após o dia chuvoso, com maior umidade do solo e com condições de céu claro (maior R_n).

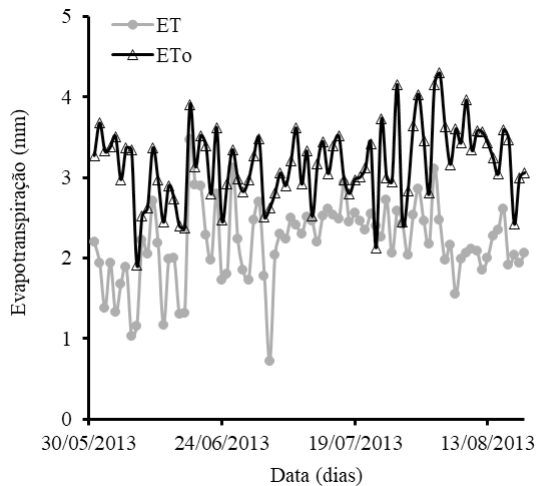


Figura 6. Evapotranspiração (ET) e evapotranspiração de referência (ET_o) no período de 31/05/2013 a 20/08/2013 na cultura do feijão em São João, PE.

Desse modo, durante a estação de crescimento do feijoeiro, a ET é controlada principalmente pelas condições atmosféricas, tais como o saldo de radiação (Figura 4A), bem como pelo armazenamento de água no solo (Figura 1). Trabalhando com feijão caupi, Lima et al. (2011) encontraram maiores valores total (330,7 mm) e médio (3,8 mm d⁻¹) de ET. Essa diferença pode estar associada à quantidade de chuva ocorrida nos dois estudos, uma vez que na pesquisa de Lima et al. (2011) ocorreram 241,4 mm de chuva, quase 100 mm a mais do que nesta pesquisa. Além disso, o solo dessa pesquisa é um Neossolo Regolítico, que possui elevados teores de areia (acima de 80%), fazendo com que ocorra uma baixa retenção de água no solo (ALMEIDA et al., 2015).

Tendo em vista a evapotranspiração da cultura (ET_c) ser aquela que ocorre numa condição padrão, ou seja, sem restrição hídrica, com níveis

adequados de fertilidade do solo e livre de pragas e doenças (ALLEN et al., 1998), a ET obtida em nosso trabalho provavelmente representa a evapotranspiração real da cultura (ET_r). A ET_r é a evapotranspiração que ocorre em qualquer situação e não depende da cultura, do seu manejo cultural, nem das condições de umidade do solo (PEREIRA et al., 2013).

De acordo com alguns pesquisadores (CARVALHO et al., 2011), a relação entre a ET_c e a ET_r pode fornecer informações sobre o status hídrico da cultura, sendo que valores próximos de um indicam que a cultura não está sofrendo déficit hídrico e valores mais baixos indicam o inverso. Contudo, tendo em vista nesse trabalho se ter determinado apenas a ET_r, não se pode dizer se a cultura do feijão sofreu ou não déficit hídrico.

Com relação a ET_o, a qual indica a demanda atmosférica e depende apenas das variáveis climáticas (ALLEN et al., 1998), observa-se que a mesma sempre foi maior que a ET. Os valores de ET_o variaram de 1,91 a 4,30 mm d⁻¹, com média de 3,2 mm d⁻¹. Borges Júnior et al. (2012) mediram a ET_o na mesma região de estudo e encontraram resultados semelhantes aos desta pesquisa.

Os valores diários dos fluxos de CO₂ durante o período de 21/06/2013 a 20/08/2013 são apresentados na Figura 7.

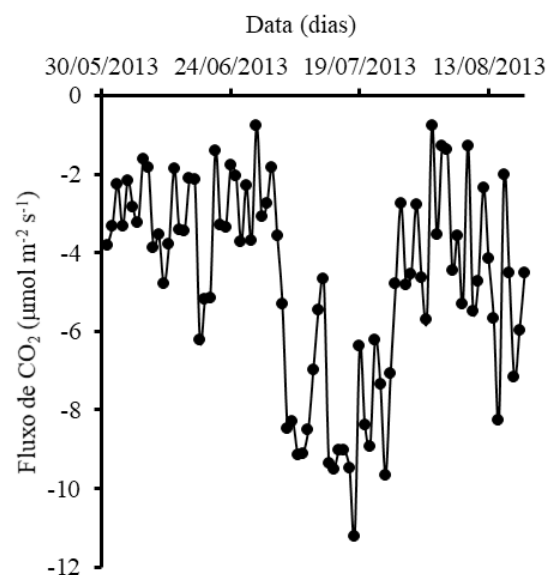


Figura 7. Fluxos diários de CO₂ em feijão durante o período de 31/05/2013 a 20/08/2013 em São João, PE.

Observa-se que somente ocorreram valores negativos de fluxos de CO_2 , os quais variaram de $-0,75$ a $-11,21 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Pode-se notar que os menores valores absolutos ocorreram nos primeiros dias, devido o feijão se encontrar nas etapas iniciais de desenvolvimento, cobrindo uma menor área do solo e, provavelmente, realizando menores taxas de fotossíntese. Já os maiores valores absolutos de fluxo de CO_2 ocorreram no mês de julho, época em que o feijão cobria totalmente o solo, e no período reprodutivo, usando mais água do solo e realizando mais fotossíntese.

De acordo com Oliveira *et al.* (2006), como indicativos das taxas líquidas de fotossíntese e respiração sobre superfícies vegetadas, considera-se que valores positivos de fluxo de CO_2 indicam fluxos de carbono da vegetação para a atmosfera, oriundos de processos respiratórios, e valores negativos indicam fluxos de carbono da atmosfera para a vegetação, devido à atividade fotossintética. Desse modo, durante todo ciclo de medida, visto os valores negativos de CO_2 , o feijão atuou como sumidouro de CO_2 , ou seja, sequestrando carbono da atmosfera.

Considerando todo período experimental, o valor médio do fluxo de CO_2 foi de $-4,72 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, o que corresponde a um sequestro de carbono de $4,0 \text{ t C ha}^{-1}$ e a $49 \text{ kg de C ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

Baker & Griffis (2005) encontraram que a cultura da soja pode sequestrar de $1,3$ a $2,3 \text{ kg de C ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Já Hernandez-Ramirez *et al.* (2011) mediram os fluxos de CO_2 em soja durante 4 anos e encontraram que a mesma cultura sequestrou de $2,0$ a $17,0 \text{ kg de C ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

Na Figura 8A é apresentada a evolução média horária dos fluxos de CO_2 e do fluxo de calor latente (LE) durante o período de 31/05 a 20/08/2013. Observa-se que das 18:30 horas até às 5:30 horas, os fluxos de CO_2 apresentam valores próximos de zero ou positivos, indicando que o sistema solo-feijão estava emitindo CO_2 para a atmosfera, devido a respiração do sistema solo-feijão ser maior que a fotossíntese, a qual era virtualmente zero nesses horários (SILVA *et al.*, 2017). Já durante as horas mais quentes do dia, das 09 às 14 horas, ocorre o maior sequestro de CO_2 atmosférico, devido a fotossíntese ser maior que a respiração.

Observa-se, também, que os fluxos de CO_2

são diretamente relacionados ao fluxo de calor latente, uma vez que os valores mais negativos de CO_2 (mais fotossíntese) ocorrem nas horas em que o LE apresenta os valores mais elevados. Fazendo-se uma análise de regressão linear entre esses dados médios horários de LE e de CO_2 (Figura 8B), encontra-se um elevado R^2 ($0,9458$), indicando que os fluxos médios horários de CO_2 em feijão, nas nossas condições experimentais, podem ser estimados com elevada precisão por meio dos valores médios, horários de fluxo de calor latente (LE).

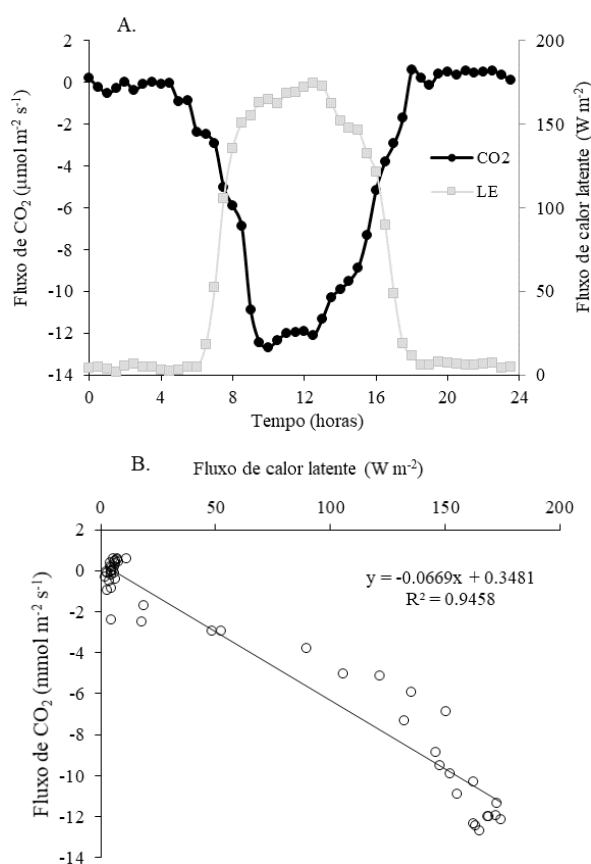


Figura 8. Variação média horária dos fluxos de CO_2 e de calor latente em feijão durante o período de 21/06/2013 a 20/08/2013 em São João-PE (A) e regressão entre os valores médios horários dos fluxos de CO_2 e de calor latente (B).

CONCLUSÕES

- A evapotranspiração total e média do feijão foram $179,3 \text{ mm}$ e $2,2 \text{ mm d}^{-1}$, respectivamente.

- O feijão atuou durante todo período como um dreno de CO₂ atmosférico, tendo sequestrado, em média, 49 kg de C ha⁻¹ d⁻¹.
- Os fluxos horários de CO₂ podem ser estimados com elevada precisão, por meio do fluxo de calor latente horário.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (processos 307641/2013-9; 312218/2013-3; 448504/2014-6) e à FACEPE (processo IBPG-0160-5.01/12) pela concessão de recursos financeiros e de bolsas. Ao senhor José Cícero Ferreira pela disponibilização da área experimental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56)

ALMEIDA, A.V.D.L.; CORRÊA, M.M.; LIMA, J.R.S.; SOUZA, E.S.; SANTORO, K.R.; ANTONINO, A.C.D. Atributos físicos, macro e micromorfológicos de Neossolos Regolíticos no agreste meridional de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.5, p.1235-1246, 2015. <<http://dx.doi.org/doi:10.1590/01000683rbcS20140757>>.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2014. <<http://dx.doi.org/doi:10.1127/0941-2948/2013/0507>>.

ANGELOTTI, F.; FERNADES JUNIOR, P.I.; SÁ, I.B. Mudanças climáticas no semiárido brasileiro: medidas de mitigação e adaptação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.4, n.6, p.1097-1111, 2011. <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/266/234>>. 15 Jul. 2016.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. 2016. <<http://www.apac.pe.gov.br>>. 5 Dez. 2016.

AUBINET, M.; GRELLE, M.A.; IBROM, A.; RANNIK, Ü.; MONCRIEFF, J.; FOKEN, T.; KOWALSKI, A.S.; MARTIN, P.H.; BERBIGIER, P.; BERNHOFER, C.H.; CLEMENT, R.; ELBERS, J.; GRANIER, A.; GRÜNWARD, T.; MORGENSTERN, K.; PILEGAARD, K.; REBMANN, C.; SNIJDERS, W.; VALENTINI, R.; VESALA, T. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: the EUROFLUX methodology. **Advances in Ecological Research**, Amsterdam, v.30, p. 113-175, 1999. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60018-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60018-5)>.

BAI, Y.; WANG, J.; ZHANG, B.; ZHANG, Z.; LIANG, J. Comparing the impact of cloudiness on carbon dioxide exchange in a grassland and a maize cropland in northwestern China. **Ecological Research**, Berlin, v.27, n.3, p.615-623, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1007/s11284-012-0930-z>>.

BAKER, J.M.; GRIFFIS, T.J. Examining strategies to improve the carbon balance of corn/soybean agriculture using eddy covariance and mass balance techniques. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.128, n.3, p.163-177. 2005. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.11.005>>.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42p.

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.T.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v.16, n.4, p.380-390, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000400008>>.

CARVALHO, H.P.; DOURADO NETO, D.; TEODORO, R.E.F.; MELO, B. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo de água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.2, p.221-229, 2011.

CARVALHO, J.J.; SAAD, J.C.C.; BASTOS,

- A.V.S.; NAVES, S.S.; SOARES, F.A.L.; VIDAL, V.M. Teor e acúmulo de nutrientes em grãos de feijão comum em semeadura direta, sob déficit hídrico. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial 1, p.104-117, 2014. <<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2014v1n1p104>>.
- CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2018. <http://conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. 05 Fev. 2018.
- GONDIM, P.S.S.; LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; HAMMECKER, C.; SILVA, R.A.B.; GOMES, C.A. Environmental control on water vapour and energy exchanges over grasslands in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.1, p.3-8, 2015. <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p3-8>>.
- HERNANDEZ-RAMIREZ, G.; HATFIELD, J.L.; PARKIN, T.B.; SAUER, T.J.; PRUEGER, J.H. Carbon dioxide fluxes in corn–soybean rotation in the midwestern U.S.: Inter- and intra-annual variations, and biophysical controls. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.151, n.12, p. 1831– 1842, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.07.017>>.
- KIM, Y.; KNOX, R.G.; LONGO, M.; MEDVIGY, D.; HUTYRAK, L.R.; PYLE, E.H.; WOFSEY, S.C.; BRAS, R.L.; MOORCROFT, P.R. Seasonal carbon dynamics and water fluxes in an Amazon rainforest. **Global Change Biology**, Nova Jersey, v.18, n.4, p. 1322-1334, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02629.x>>.
- LIMA, J.R.S.; ANTONINO; A.C.D.; LIRA C.A.B.O.; SOUZA, E.S.; SILVA I.F. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.1, p.65-74, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902011000100009>>.
- MACHADO, C.B.; LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOUZA, E.S.; SOUZA, R.M.S.; ALVES, E.M. Daily and seasonal patterns of CO₂ fluxes and evapotranspiration in maize-grass intercropping. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.20, n.9, p.777-782, 2016. <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p777-782>>.
- MOORE, C.J. Frequency Response Corrections for Eddy Correlation Systems. **Boundary Layer Meteorology**, Berlin, v.25, p.245-269, 1986. <<http://dx.doi.org/10.1007/BF00122754>>.
- NEVES, L.O.; COSTA, J.M.N.; ANDRADE, V.M. ; LÔLA, A.C.; FERREIRA, W.P. Balanço de energia em uma cultura de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.) no estado do Pará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.16, p.21-30, 2008.
- OLIVEIRA, M.B.L.; SANTOS, A.J.B.; MANZI, A.O.; ALVALÁ, R.C.S.; CORREIA, M.F.; MOURA, M.S.B. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.21, n.3b, p.166-174, 2006.
- PEREIRA, A.R.; SEDIYAMA, G.C.; VILLA NOVA, N.A. Evapotranspiração. Campinas: FUNDAG, 2013. 323p.
- QUN, D.; HUIZHI, L. Seven years of carbon dioxide exchange over a degraded grassland and a cropland with maize ecosystems in a semiarid area of China. **Agriculture, Ecosystems and Environments**, Amsterdam, v.173, p.1-12, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.009>>.
- SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M. R.; ALMEIDA, M.C.; BORGES, L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.3, p.683-695, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300001>>.

SCHOTANUS, P.; NIEUWSTADT, F.T.M.; BRUIN, H.A.R. Temperature measurements with a sonic anemometer and its application to heat and moisture fluxes. **Boundary-Layer Meteorology**, Berlin, v.26, p.81-93, 1983. <<http://dx.doi.org/10.1007/BF00164332>>.

SILVA, R.A.B.; LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; GONDIM, P.S.S.; SOUZA, E.S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.1, p.147-157, 2014. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100014>>.

SILVA, P.F.; LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOUZA, R.; SOUZA, E.S.; SILVA, J.R.I.; ALVES,

E.M. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v.147, p.71-82, 2017. <<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.003>>.

WILSON, K.; GOLDSTEIN, A.; FALGE, E.; AUBINET, M.; BALDOCCHI, D.; BERBIGIER, P.; BERNHOFER, C.; CEULEMANS, R.; DOLMAN, H.; FIELD, C.; GRELLER, A.; IBROM, A.; LAW, B. E.; KOWALSKI, A.; MEYERS, T.; MONCRIEFF, J.; MONSON, R.; OECHEL, W.; TENHUNEN, J.; VALENTINI, R.; VERMA, S. Y. Energy balance closure at FLUXNET sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.113, n.1-4, p.223-243, 2002. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00109-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00109-0)>.