

VARIABILIDADE TEMPORAL DAS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA EM ÁREA IRRIGADA UTILIZADO O ALGORITMO SEBAL

F. D. D. ARRAES¹, E. M. ANDRADE², J. B. OLIVEIRA³, C. J. G. S. LIMA⁴

Resumo: Este trabalho objetivou analisar e interpretar a variabilidade das componentes do balanço de energia na área irrigada. Foram utilizadas imagens TM do LANDSAT 5, cedidas pelo INPE, referentes à órbita/ponto 217/ 64, período de 1992 a 2008. Utilizou-se o software ERDAS IMAGINE 9.0 para fazer as operações matemáticas e se estimar as componentes do balanço de energia, aplicando-se o algoritmo SEBAL. Dos componentes do balanço de energia analisados nesta pesquisa, LE representou as maiores porcentagens do saldo de radiação (LE/Rn igual a 79,6%), mostrando que maior parte foi utilizada para evapotranspiração.

Palavras-Chaves: Partição de energia, Sensoriamento remoto, Irrigação

TEMPORARY VARIABILITY OF THE COMPONENTS OF THE ENERGY BALANCE IN IRRIGATED AREA USED THE ALGORITMO SEBAL

Abstract: The main objective of the present work was to analyze and to interpret the variability of the components of the energy balance in the irrigated area. Images were used TM of LANDSAT 5, given in by INPE, regarding the orbit / point 217 / 64, period of 1992 the 2008. The software was used ERDAS IMAGES 9.0 to do the mathematical operations and to be considered the components of the energy balance, applied the algorithm SEBAL. Of the components of the energy balance analyzed in this research, LE represented the largest percentages of the net radiation (LE/Rn equal to 79,6%), indicating that larger part was used for evapotranspiration.

Key words: Partition of energy, Remote Sensing, Irrigation

¹ Doutorando em Física do Ambiente Agrícola – ESALQ/USP, Piracicaba – SP. dirceuarraes@usp.br

² Prof. PhD, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza – CE. eandrade.pq@cnpq.br

³ Prof. MS do IFCE, Campus Iguatu. joaquimbrancodeoliveira@gmail.com

⁴ Engº Agrº, Doutorando em Irrigação e Drenagem, LEB/ESALQ/USP, Piracicaba – SP. cjgslima@esalq.usp.br

INTRODUÇÃO

O balanço de energia à superfície representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície e determina a quantidade de fluxo de energia disponível para a evaporação da água e para a variação na temperatura da superfície. A radiação líquida é fracionada em três diferentes formas de energia responsável por diversos processos na superfície terrestre, tais como o fluxo de energia latente (LE), que é a parte da energia alocada para o processo de evapotranspiração/evaporação; fluxo de energia sensível (H), que é parte da energia usada para aquecer a atmosfera próxima à superfície; e o fluxo de energia para aquecer o solo (G). O balanço de energia pode ser simbolizado por meio da equação da conservação da energia, onde são considerados todos os fluxos de energia (ALLEN et al., 2002).

Para se estimar os diferentes componentes do balanço de energia à superfície com imagens de satélites, alguns algoritmos têm sido formulados, dentre eles o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), proposto por BASTIAANSEN et al. (1998), sendo depois modificado por ALLEN et al. (2002). O algoritmo SEBAL necessita de um número reduzido de dados de superfície como radiação solar global obtido pelas imagens de satélite com bandas visível, infravermelho próximo, infravermelho termal, velocidade do vento e temperatura do ar (BASTIAANSEN et al., 1998). O presente trabalho tem como objetivo analisar e interpretar a variabilidade das componentes do balanço de energia na área irrigada usando o algoritmo SEBAL.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende as áreas adjacentes do açude Orós, o qual barra as águas do rio Jaguaribe na divisa da bacia do Alto e Médio Jaguaribe, localizada no sul do Estado do Ceará entre as coordenadas geográficas 5° 23' e 7° 23' latitude Sul e 38° 47' e 40° 51' longitude Oeste. O açude Orós, é o segundo maior reservatório do Estado do Ceará com um volume máximo de armazenamento da ordem de 2 bilhões de metros cúbicos. O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é BSw'h', semiárido quente com chuvas de verão/outono e temperatura média mensal sempre superior a 18 °C. Os dados das precipitações pluviométricas mensais nos anos estudados em três estações inseridas na área de estudo foram obtidos junto à FUNCEME.

A pesquisa foi realizada em oito imagens do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, fornecidas pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) do INPE, sendo as mesmas adquiridas

sob a condição de céu claro, para os dias 24/08/1992, 14/08/1994, 2/07/1996, 11/07/1999, 17/08/2001, 06/07/2003, 14/07/2006 e 20/08/2008.

Etapas do balanço de energia

Saldo de radiação

O saldo de radiação à superfície foi estimado empregando-se a equação de balanço de radiação à superfície, conforme procedimentos descritos por Bastiaanssen et al. (1998) e Allen et al. (2002).

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o)R_{L\downarrow} \quad (1)$$

Em que: $R_{s\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente, α é o albedo corrigido de cada pixel, $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel, $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e ε_o é a emissividade de cada pixel.

Fluxo de calor no solo

O fluxo de energia no solo G (W m^2), foi obtido a partir da equação empírica desenvolvida por BASTIAANSSEN et al. (1998).

$$G = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98\text{NDVI}^4) \right] R_n \quad (2)$$

Em que: T_s é a temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$); α o albedo corrigido do pixel; NDVI o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e R_n o Saldo de Radiação. Para a correção de valores do fluxo de energia no solo para corpos d'água ($\text{NDVI} < 0$), considerou-se $G = 0,3R_n$ (ALLEN et al., 2002).

Fluxo de Energia Sensível

O fluxo de energia sensível (H) é a etapa mais complexa do SEBAL, e é obtido através de processo iterativo. Para iniciar o mesmo, considera-se a atmosfera em equilíbrio neutro, sendo na sequência identificada a condição de estabilidade e então, são promovidas as correções necessárias. Inicialmente, H é estimado com base na velocidade do vento e temperatura da superfície usando a calibração interna da diferença de temperatura próxima à superfície segundo BASTIAANSSEN et al. (1998):

$$H = \frac{\rho \cdot c_p dT}{r_{ah}} \quad (3)$$

Em que: ρ é a massa específica do ar úmido ($1,15 \text{ kg m}^{-3}$), c_p é o calor específico do ar ($1005 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), dT é a diferença de temperatura próximo à superfície (K) e r_{ah} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (s m^{-1}).

O procedimento detalhado de determinação de dT e da correção da estabilidade atmosférica encontra-se em ALLEN et al. (2002).

Fluxo de Energia Latente

O fluxo de energia latente LE ($W m^{-2}$) foi obtido pela simples diferença entre o saldo de radiação, o fluxo de energia no solo e o fluxo de energia sensível:

$$LE = R_n - H - G \quad (4)$$

Em que: LE é o valor do fluxo de energia latente instantâneo, ou seja, seu valor no momento da passagem do satélite.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os valores dos componentes do balanço de energia na área de estudo, bem como a precipitação total anual. Pela referida figura observa-se que a radiação líquida (R_n) apresentou-se independente do total precipitado, visto que os dois maiores valores foram registrados nos anos extremos (máximo e mínimo) das precipitações. Observa-se que os valores médios de Radiação líquida (R_n) nos anos em estudos foram muito semelhantes, exceto os anos de 2001 e 2008 que foram superiores aos observados nos outros anos (Figura 1). Os valores médios do saldo de radiação foram ligeiramente superiores nas imagens adquiridas no mês de agosto. Este resultado pode ser justificado pelos valores da radiação de ondas curtas incidentes, sendo maiores no mês de agosto em virtude dos menores valores do ângulo zenital, ou seja, quanto maior o Z , menor é a incidência de radiação global, devido a um maior caminho óptico que os raios solares percorrem para chegar à superfície.

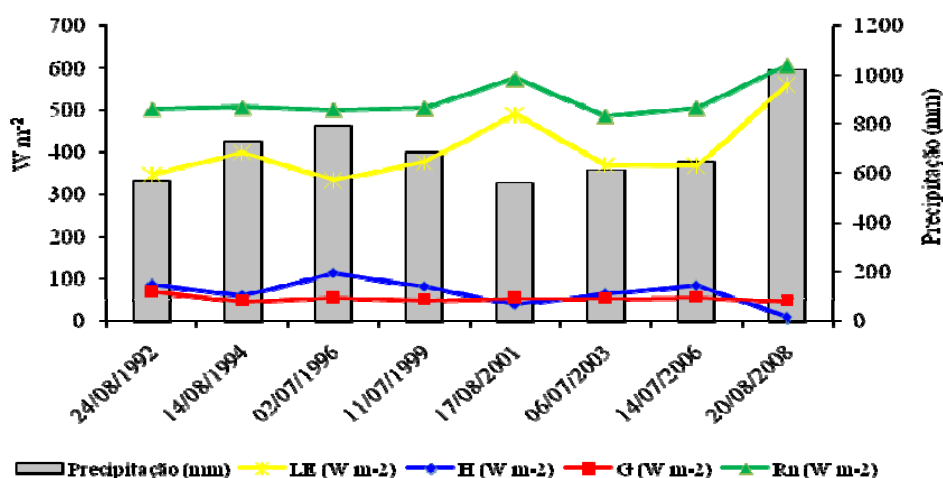


Figura 1 - Valores das componentes do balanço de energia na área de estudo

Os valores de G apresentaram um comportamento quase constante após o ano de 1994, estando em torno de $55,0 W m^{-2}$ (Figura 1). Acredita-se que esta baixa variabilidade esteja

relacionada com o maior teor de água no solo, que devido ao alto calor específico proporciona uma baixa variabilidade no fluxo de energia no solo. NICÁCIO (2008) obteve o fluxo de energia no solo para a região de fruticultura irrigada valores de $G < 96,0 \text{ W m}^{-2}$.

Os valores de H para a área apresentou a tendência de redução na quantidade de energia na forma de energia sensível no período de estudo (Figura 1). Os resultados encontrados para as áreas irrigadas confirmam os observados por SILVA e BEZERRA (2006) nas áreas irrigadas do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho. Ainda de acordo com a Figura 1, observa-se que os valores do fluxo de energia latente foram os maiores dentro das componentes de Rn.

A Figura 2 apresenta as curvas de percentuais da relação dos componentes G, LE e H, com o saldo de radiação e o valores do índice diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*) ao longo do período estudado. Observa-se que os valores do fluxo de calor no solo não ultrapassaram 20% do Rn, em todos os anos analisados. Em condições de solo aberto na região de Petrolina – PE, Nicácio (2008) observou que para o fluxo mediano de energia no solo representou em torno de 22% do saldo de radiação nesta área. A maior percentagem do saldo radiação foi utilizado para os processos de evaporação e evapotranspiração (Figura 2). TEIXEIRA (2001) encontrou que em uma região com cultivo de banana em Petrolina-PE em média, 87% do saldo de radiação é utilizado para processos de evapotranspiração.

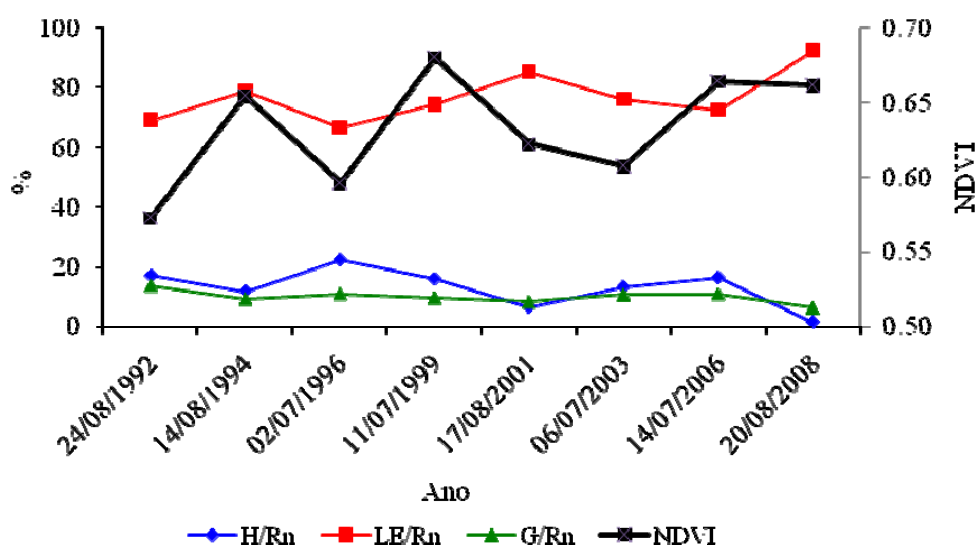


Figura 2 – Curvas percentuais dos componentes de fluxo de energia latente (LE), sensível (H) e no solo (G) em relação ao saldo de radiação e o NDVI na área irrigada

Ainda de acordo com Figura 2 percebe-se que o comportamento de aumento do percentual de H/R_n acompanhou a tendência de redução do valor do NDVI. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação verde, portanto, quanto menor o valor do NDVI mais energia está disponível para o aumento da temperatura do ar.

CONCLUSÕES

1. Baixas flutuações foram registradas no fluxo de energia no solo;
2. A grande parte da energia líquida (79,6%) foi expressa na forma de energia latente, expressando que o processo de evapotranspiração está ocorrendo à taxa elevadas;
3. O algoritmo SEBAL mostrou-se uma ferramenta capaz de obter as componentes do balanço de energia com reduzidas variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – Advanced training and Users Manual, Idaho, 2002. 98 p.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. Journal of Hydrology, v. 212–213, p.198–212. 1998.
- NICÁCIO, R. M. Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do Rio São Francisco. 2008. 320 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.
- SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM – Landsat 5. Revista Brasileira de Agrometeorologia. v. 14, n. 2, p. 174-186, 2006.
- TEIXEIRA, A. H. C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 1, p. 28-32, 2001.