

# BALANÇO DE RADIAÇÃO NO PERÍMETRO IRRIGADO SENADOR NILO COELHO UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E IMAGENS LANDSAT 5 - TM

Bernardo Barbosa da Silva, Magna Soelma Beserra de Moura, João Roberto Feitosa,  
Josicleda Domiciano Galvêncio e José Ferreira da Costa Filho

Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências Atmosféricas,  
Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó. 58.109-970 Campina Grande, PB. E-mail: bernardo@dca.ufpb.br,  
magna@dca.ufpb.br, feitosa@dca.ufpb.br, josicle@dca.ufpb.br e costafi@dca.com.br

## ABSTRACT

Evapotranspiration on a regional scale is an useful information for agricultural and hydrological practice and can be determined by combining remote sensing data with ground-based measurements. However, estimates of evapotranspiration using remote sensing data are usually based on instantaneous values and to obtain daily evapotranspiration at a regional scale, it is necessary to convert these values into a daily basis. For doing that, it is necessary previously account for net radiation. The main objective of this study was the determination of the net radiation using Landsat5 - TM images. Based on digital count associated with bands 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7, for each pixel, a radiometric calibration was performed. Then, the planetary reflectance for each band and the radiometric temperature were obtained. The broadband reflectance (albedo) was obtained using only two known values at surface level. The results are in agreement with measurements taken in different orchards.

## INTRODUÇÃO

A energia utilizada nos processos de aquecimento e resfriamento do ar e do solo, na transferência de vapor d'água da superfície para atmosfera, e no metabolismo das plantas e dos animais, é proveniente da radiação solar. Neste sentido, é importante se estudar a partição dos componentes do balanço de radiação à superfície e, sobretudo, aqueles relacionados com as perdas de água da superfície para atmosfera.

O balanço de radiação em uma determinada superfície é resultante da contabilização entre a energia radiante recebida e perdida pela superfície (Rosenberg *et al.*, 1983). O saldo de radiação, que se constitui da soma algébrica dos balanços de ondas curtas e longas, é um dos principais componentes da maioria dos modelos utilizados para estimativa da evapotranspiração.

O incremento das áreas irrigadas no Nordeste brasileiro nos últimos anos é um fato marcante para a economia regional. Este aumento é devido, principalmente, às características climáticas da região (baixa umidade relativa do ar, temperaturas elevadas e alta disponibilidade de energia durante todo ano), que constituem um ambiente favorável para o cultivo irrigado de muitas espécies, principalmente as frutíferas. Um problema já constatado nessas áreas é o excessivo consumo de água (Moura, 2001), uma vez que as reais necessidades hídricas dos principais cultivos ainda são desconhecidas. Diversos esforços vêm sendo implementados no sentido de se determinar a evapotranspiração de espécies cultivadas nos perímetros irrigados do Sub-médio São Francisco (Silva, 2000; Lopes, 1999; Teixeira, 2000). No entanto, trata-se de medições pontuais em meio à grande área plantada, com muita diversidade de espécies vegetais (vegetação nativa – caatinga, e cultivos irrigados – manga, banana, goiaba, coco, uva etc...), de solo e de microclimas. Uma alternativa que tem sido utilizada nos últimos anos consiste na estimativa da evapotranspiração de perímetros irrigados (escala regional) com base em imagens de satélite e algoritmos que permitem a conversão de medidas instantâneas em totais diários de evapotranspiração (Bastiaanssen *et al.*, 1998, Bastiaanssen, 2000; Granger, 2000). Um dado indispensável à utilização do sensoriamento remoto com tal finalidade é o saldo de radiação, principal fonte de energia a ser repartida no aquecimento do solo, do ar e no processo de evapotranspiração.

Deste modo, esta pesquisa se propõe a determinar o saldo de radiação, bem como o balanço de ondas curtas e de ondas longas, do perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, usando-se imagens do Mapeador Temático do Landsat 5. Com os resultados aqui obtidos, serão aplicados procedimentos que possibilitarão estimar os fluxos de calor sensível e de calor latente, através dos quais estimar-se-á a evapotranspiração em base diária no perímetro irrigado supra mencionado.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Região de estudo:

O Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho (PISNC) é resultado de uma decisão do Governo Brasileiro de impulsionar o desenvolvimento do Nordeste através da agricultura irrigada, e elevar os níveis de renda, o padrão de vida e a diminuição do êxodo rural. O projeto tem sido executado pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), sob a jurisdição da 3ª Diretoria Regional.

O referido perímetro está localizado à margem esquerda do Rio São Francisco, no Nordeste Brasileiro, estendendo-se desde a Barragem de Sobradinho, no município de Casa Nova-BA, até o município de Petrolina-PE, com área equivalente a 80% do Perímetro. Para o presente estudo, selecionou-se o retângulo envolvido pelas seguintes coordenadas: canto superior esquerdo (longitude 40°48'58" Oeste e latitude 09°19'57" Sul), canto superior direito (longitude 40°32'01" e latitude 09°19'57"), canto inferior direito (longitude 40°32'01" Oeste e latitude 09°31'46" Sul) e canto inferior esquerdo (longitude 40°48'58" Oeste e latitude 09°31'46" Sul), que compreende parte do PISNC.

### Imagem de satélite:

Foram adquiridas, junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/São José dos Campos, as imagens referentes aos sete canais espectrais (Tabela 1) do mapeador temático (TM Landsat 5), correspondente ao dia 04 de dezembro de 2000 (Dia Juliano, DJ = 338), para a órbita 217 e o ponto 67.

**Tabela 1.** Descrição dos canais do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5, com intervalo de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - *a* e máxima - *b*) e irradiância espectral no topo da atmosfera ( $K_b$ )

Descrição dos Canais	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	Coeficientes de calibração ( $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ )		$K_b (\lambda_i)$ ( $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ )
		a	b	
Banda 1 (azul)	0,45 – 0,52	-0,150	15,21	195,8
Banda 2 (verde)	0,53 – 0,61	-0,280	29,68	182,8
Banda 3 (vermelho)	0,62 – 0,69	-0,120	20,43	155,9
Banda 4 (infra-vermelho próximo)	0,78 – 0,90	-0,150	20,62	104,5
Banda 5 (infra-vermelho médio)	1,57 – 1,78	-0,037	2,720	21,9
Banda 6 (infra-vermelho termal)	10,4 – 12,5	0,1238	1,560	-
Banda 7 (infra-vermelho médio)	2,10 – 2,35	-0,015	1,440	7,5

Os satélites medem a radiância espectral dos alvos e armazenam esses dados sob a forma de números digitais (ND), com intensidade dos níveis de cinza variando de 0 a 255 (8 bits), para o caso do TM - Landsat 5.

Cada passo realizado, a partir dos dados brutos (ND) do satélite para encontrar os parâmetros físicos da superfície, como o albedo, a temperatura e o NDVI, necessitam de um operador matemático. Neste sentido, foi utilizado o *software* ERDAS Imagine v. 8.5.1, que é capaz de criar diversos modelos através do "Model Maker".

Com base na intensidade de cada pixel e canal, são procedidos os cálculos da calibração radiométrica, determinação da reflectância planetária (exceto para o canal 6), quantificação do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), e a partir dos mesmo se calculou o albedo superficial, temperatura radiométrica e saldo de radiação.

### Calibração radiométrica:

Inicialmente, deve-se converter os números digitais (ND) em radiância espectral ( $L_{\lambda_i}$ ). Este processo também é conhecido como calibração radiométrica, e para tanto, utilizou-se a seguinte relação (Markham & Baker, 1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \times ND \quad (\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}) \quad (1)$$

onde  $a$  e  $b$  são as radiâncias espectrais mínima e máxima ( $\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ , Tabela 1), ND é a intensidade do pixel (número digital, de 0 a 255) e  $i = 1, 2, \dots, 7$ , correspondentes às bandas 1, 2, ..., 7 do TM Landsat 5.

### Balanco de radiação:

O saldo de radiação, resultante do balanço de radiação, é a energia utilizada nos processos físicos, químicos e biológicos na natureza. Para encontrar os principais componentes do balanço de energia (Rn, G, LE e H) utilizando o algoritmo SEBAL, deve-se, inicialmente, criar um mapa dos valores instantâneos do saldo de radiação (Rn), e posteriormente dos fluxos de calor no solo (G) e de calor sensível (H). O fluxo de calor latente é obtido por diferença simples entre estes mapas. A descrição abaixo dos procedimentos utilizados para determinação do saldo de radiação é originária de Bastiaanssen (1995). O saldo de radiação da superfície (Rn) é dado pela equação abaixo:

$$Rn = K^\downarrow - r_o K^\downarrow + L^\downarrow - L^\uparrow \quad (2)$$

onde  $K^\downarrow$  é a radiação solar incidente,  $r_o$  é o albedo da superfície,  $L^\uparrow$  é a radiação de ondas longas emitida pela superfície, que são calculados com a resolução espacial do pixel; e  $L^\downarrow$  é a radiação de ondas longas emitida pela atmosfera, na direção da superfície terrestre, assumida constante para toda imagem.

A radiação solar incidente ( $K^\downarrow$ ) à superfície foi determinada através da equação abaixo:

$$K^\downarrow = K_{TOA}^\downarrow \times \tau_{sw} \quad (3)$$

em que  $K_{TOA}^\downarrow$  é a radiação solar extraterrestre incidente em uma superfície plana e perpendicular aos raios solares, no topo da atmosfera, obtida pela equação abaixo através da constante solar ( $K_{sun}^\downarrow$ ), ângulo zenital do Sol e pela correção da distância relativa Terra-Sol ( $d_s^2$ ), em unidade astronômica (UA):

$$K_{TOA}^\downarrow = \frac{K_{sun}^\downarrow \times \cos Z}{d_s^2} \quad (4)$$

O cosseno do ângulo zenital do Sol ( $\cos Z$ ) é dado em função do ângulo horário do Sol ( $h$ ), latitude ( $\phi$ ) e declinação solar ( $\delta$ ), segundo a expressão:

$$\cos Z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cosh \quad (5)$$

Para encontrar o ângulo horário considerou-se a hora local de passagem do satélite igual a 9,5 horas; assim, a hora solar verdadeira foi igual a 9,8 horas e o ângulo horário correspondente a  $33^\circ$ . A declinação solar, para o dia 04 de dezembro de 2000, DJ = 338, foi igual a  $-22,48^\circ$ . A distância relativa Terra-Sol ( $d_s^2$ ), em unidade astronômica (UA) foi calculada em função do dia Juliano (DJ), como sendo:

$$d_s = 1 + 0,0167 \sin \left[ \frac{2\pi(DJ - 93,5)}{365} \right] \quad (6)$$

O albedo da superfície ( $r_o$ ) foi calculado através da combinação linear da reflectância planetária ( $r_{p,i}$ ) dos canais 1, 2, 3, 4, 5 e 7, e de procedimentos propostos por Bastiaanssen (1995). Para tanto, considerou-se que os pixels da imagem se comportam como superfícies lambertianas. Assim, a reflectância espectral é obtida ao se integrar a radiância  $L_{\lambda_i}$  hemisféricamente, o que resulta no produto de  $L_{\lambda_i} \times \pi$  (sr). Conhecendo-se a irradiância espectral no topo da atmosfera ( $K_b$ , Tabela 1) para cada banda, pode-se encontrar o  $r_{p,i}$  através da equação abaixo:

$$r_{p,i}(\lambda_i) = \frac{L_{\lambda_i} \times \pi}{K_{b,i} \times \cos Z} \quad (7)$$

onde  $r_{p,i}(\lambda_i)$  é a reflectância planetária para cada banda  $i$ ,  $Z$  é o ângulo zenital do Sol e outros termos já foram definidos.

O albedo superficial, não corrigido devido aos efeitos atmosféricos, e para dias de céu claro, é obtido pela seguinte equação:

$$r_p = \sum_{i=1}^n c(b)_i \times r_{p,i}(\lambda_i) \quad (8)$$

em que  $n$  é número total de bandas espectrais  $i$ ,  $c(b)_i$  é um coeficiente para cada banda e  $r_{p,i}(\lambda_i)$  é a reflectância planetária de cada banda  $i$ .

Através do procedimento acima obtém-se um mapa com os valores do albedo não corrigido (albedo planetário), a partir do qual é possível obter o albedo superficial corrigido de cada pixel. Para isso, é necessário conhecer a interferência atmosférica, que em geral, é baseada nas condições de temperatura, umidade e velocidade do vento em diferentes perfis, obtidos através de radiossondagens. No entanto, esses dados em geral não estão disponíveis, e deve-se recorrer a algum procedimento que possibilite sua estimativa. Nesse sentido, Bastiaanssen (1995) propõe obter a  $r_o$  a partir de  $r_p$ , utilizando-se uma metodologia simples e eficaz, que se aplica a dias de céu claro. Para tanto, se faz necessário conhecer o albedo,  $r_o$ , de dois pontos à superfície, e que através da equação abaixo possibilita a obtenção de  $r_o$  para todos os pixels da cena estudada. Ou seja:

$$r_o = \frac{r_p - a}{b} \quad (9)$$

onde  $a$  e  $b$  são coeficientes.

Para obter os coeficientes  $a$  e  $b$ , deve-se conhecer o albedo superficial de dois pixels contrastantes, cujos valores possam ser associados ao albedo planetário. Neste sentido, utilizou-se um pixel na água, cujo  $r_o$  foi igual a 0,06 e outro de um cultivo conhecido, cujo valor foi 0,18. Assim, foi possível obter  $a = 0,034$  e  $b = 0,74$  e, conseqüentemente, um mapa de  $r_o$  para toda área de estudo. O coeficiente  $b$  da Equação 9 corresponde a transmitância da atmosfera ( $\tau_{sw}$ ). Dessa mesma forma, com os dados da radiação solar incidente e albedo da superfície, foi possível calcular o balanço de radiação de ondas curtas para a área de estudo.

Para encontrar os componentes do balanço de radiação de ondas longas é necessário conhecer a emissividade da superfície e a temperatura da superfície e do ar. A emissividade da superfície ( $\epsilon_o$ ) foi encontrada em função do índice de vegetação normalizada (NDVI) usando-se a equação abaixo proposta por Van de Griend & Owe (1993), para valores de NDVI entre 0,16 e 0,74. Assim:

$$\epsilon_o = 1.009 + 0.047 \ln NDVI \quad (10)$$

A temperatura do ar ( $T_a$ ) foi obtida através de medidas locais, em estações e/ou torres micrometeorológicas localizadas dentro de pomares de fruteiras na região. A temperatura da superfície ( $T_o$ ) pode ser obtida a partir da inversão da Lei de Planck, qual seja:

$$T_o = \frac{1,4388.10^4}{\lambda_{cen} \ln\left(\frac{\epsilon(b)b3,7427.10^8}{L(b,T)\lambda_{cen}^5} + 1\right)} \quad (11)$$

onde  $\lambda_{cen}$  é o comprimento de onda central da banda 6 (11,5 $\mu$ m),  $L(b,T)$  é a radiância espectral da banda 6,  $b$  é a amplitude efetiva da banda 6 ( $\mu$ m) e  $\epsilon(b)$  é a emissividade da superfície. A temperatura obtida segundo a equação acima não foi corrigida devido aos efeitos atmosféricos, mas tão somente quanto à natureza da mesma, isto é, quanto à sua emissividade.

A radiação de ondas longas incidente, ou seja, emitida pela atmosfera, é dada através da seguinte equação:

$$L^\downarrow = \epsilon_a \sigma T_a^{-4} \quad (12)$$

em que  $L^\downarrow$  é a radiação de ondas longas emitida pela atmosfera,  $\epsilon_a$  é a emissividade do ar,  $T_a$  é a temperatura do ar (em Kelvin) e  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman. A radiação de ondas longas emitida pela superfície ( $L^\uparrow$ ) foi obtida pela Equação 12; no entanto, usando-se valores da emissividade da superfície ( $\epsilon_o$ ) e da temperatura da superfície ( $T_o$ ).

Assim, com valores da radiação solar incidente ( $K^\downarrow$ ), do albedo ( $r_o$ ), temperatura da superfície ( $T_o$ ) e do ar ( $T_a$ ) e da emissividade da superfície ( $\epsilon_o$ ) e do ar ( $\epsilon_a$ ), pode-se calcular o saldo de radiação ( $R_n$ ), através de dados da superfície e de sensoriamento remoto para a área do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o saldo de radiação obtido através do algoritmo SEBAL para imagens TM Landsat 5, correspondente à composição das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. As áreas mais claras correspondem aos valores mais elevados de  $R_n$ . Observa-se no lado esquerdo da imagem a Barragem de Sobradinho e, mais ou menos na parte central, o Rio São Francisco. No mapa destacam-se três *pixels* selecionados como sendo área cultivada com frutíferas (P1), solo exposto (P2) e água (P3).

A Tabela 2 apresenta os valores de alguns parâmetros instantâneos dos três alvos selecionados, usando-se a metodologia do SEBAL. Bastiaanssen (2000) utilizou o SEBAL para estimar os fluxos de calor sensível e latente em áreas irrigadas da bacia do Gediz (Turquia). Analisando os valores de alguns parâmetros instantâneos para dois diferentes *pixels*, úmido e seco, o autor constatou que o NDVI atingiu valor de 0,22 para o pixel seco e de -0,017 para o pixel úmido. Os valores encontrados neste trabalho para o NDVI (Tabela 2), correspondentes aos pontos P2 e P3 são iguais a 0,18 e -0,50, respectivamente. Observa-se que tanto os valores do NDVI como os dos outros parâmetros calculados (Tabela 2), comportaram-se de maneira semelhante aos pixels seco e úmido descritos por Bastiaanssen (2000). Há de se considerar o fato de que se tratam de diferentes áreas, mas o comportamento dos pixels seco e úmido são semelhantes.

Na Tabela 2 observa-se que o valor do saldo de radiação da área cultivada foi igual a 645,1 W/m<sup>2</sup>, superior ao encontrado para o solo exposto (470,6 W/m<sup>2</sup>) e abaixo do verificado na água da barragem, 759,3 W/m<sup>2</sup>. Bastiaanssen (1998) estudou o comportamento de alguns parâmetros da superfície através do algoritmo SEBAL para a bacia do Rio Heihe, em Buansu (China). Analisando-se os valores do saldo de radiação para uma área deserta e outra de oásis, verificou que no deserto o Rn foi próximo a 400,0 W/m<sup>2</sup>, enquanto que para o oásis esse valor foi maior, em torno de 500,0 W/m<sup>2</sup>. Comparando-se esses valores como os aqui obtidos para os pixels 2 e 1, respectivamente a área de solo exposto e área cultivada, pode-se dizer que apesar de tratar-se de duas regiões diferentes (bacias do Rio São Francisco, Brasil e do Rio Heihe, China), os resultados são semelhantes, uma vez que foram obtidos com a mesma metodologia (algoritmo SEBAL) e para o mesmo sensor de satélite (TM Landsat 5).

Em busca de resultados para comparação, recorreu-se a trabalhos desenvolvidos para diferentes fruteiras cultivadas na região do Sub-médio São Francisco, mesmo sabendo que há variação nos parâmetros por se tratar de épocas diferentes da data de obtenção da imagem de satélite utilizada. Neste sentido, abaixo são mostrados alguns resultados para bananeira, mangueira, goiabeira e videira, cuja evapotranspiração foi determinada pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, para a qual foram realizadas medidas do saldo de radiação sobre as culturas. Sabe-se que o saldo de radiação é bastante variável ao longo do ano e do dia, assim buscou-se comparar os resultados desta pesquisa com valores do saldo de radiação para dias próximos ao DJ = 338, às 9h30.

Teixeira (2000) realizou o balanço de energia na cultura da bananeira irrigada no Sub-médio São Francisco durante um ciclo produtivo. Este autor encontrou um saldo de radiação próximo a 400,0 W/m<sup>2</sup>, às 9h30 para o DJ 348. Sobre a mangueira irrigada, Teixeira *et al.* (2000) encontraram valores do Rn de próximo a 500,0 W/m<sup>2</sup> para o DJ 220. Ainda para a mangueira irrigada, Silva (2000) verificou saldo de radiação igual a 471,8 W/m<sup>2</sup> para as 9h30 do dia Juliano 319. Moura (2001) apresentou valor do saldo de radiação medido sobre goiabeira às 9h30, igual a 345,8 W/m<sup>2</sup> para o DJ 332 (com nebulosidade) e 498,8 W/m<sup>2</sup> para o DJ 311, sem nebulosidade. Para a videira, Ávila Netto & Azevedo (2000) encontraram valores do saldo de radiação para o dia juliano 201 às 9h30 de 331,54 Wm<sup>2</sup>.

A partir dos resultados obtidos nesse estudo, não foi possível realizar uma boa comparação entre os dados do saldo de radiação calculados através do sensoriamento remoto e os dados medidos no campo, como realizado por Bastiaanssen *et al.* (1998) e Granger (2000). Bastiaanssen *et al.* (1998) utilizaram o algoritmo SEBAL para estimar o saldo de radiação sobre a bacia do Rio Heihe (China), em área de deserto e de oásis e compararam seus resultados com medidas realizadas na superfície. Verificaram que para o dia em questão, os valores do saldo de radiação estimados pelos dados de satélite foram superiores aos medidos no campo, para as duas áreas.

Tabela 2. Parâmetros instantâneos determinados usando o algoritmo SEBAL para três diferentes pontos: P1 - área cultivada com fruteiras, P2 - solo exposto e P3 - água; para o dia 04 de dezembro de 2000, na hora de passagem do satélite

Parâmetro	P1 - Área cultivada com fruteira	P2 - Solo exposto	P3 - Água da Barragem de Sobradinho
NDVI	0,71	0,18	-0,50
Albedo da superfície, $r_0$	0,15	0,16	0,06
Emissividade da superfície, $\epsilon_0$	0,97	0,96	1,00
Temperatura da superfície, $T_0$ (°C)	26,1	30,3	19,3
Saldo de radiação, Rn (Wm <sup>2</sup> )	645,1	470,6	759,3



Figura 1. Mapa do saldo de radiação instantâneo para parte do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, na região do Sub-médio São Francisco, para o dia 04 de dezembro de 2000, estimado através do algoritmo SEBAL com imagem TM Landsat 5 (♦ = pixel cultivado com fruteiras, ■ = pixel de solo exposto e ● = pixel na água, próximo à Barragem de Sobradinho)

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o saldo de radiação de grandes áreas, como perímetros irrigados, pode ser obtido através da aplicação de leis da radiação eletromagnética e imagens de satélite, com um reduzido número de dados de superfície, e utilização de um software capaz de fazer operações com diversos canais do Mapeador Temático do Landsat 5. É necessário que se tenha na imagem pelo menos dois pixels com albedo conhecido. Os valores do saldo de radiação encontrados sobre áreas cultivadas estão, aparentemente, mais elevados que os verificados na superfície, para o horário de passagem do satélite. Sugere-se a utilização de procedimentos que possibilitem estimar com maior rigor a temperatura superficial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁVILA NETTO, J.; AZEVEDO, T. V.; SILVA, B. B.; *et al.* Exigências hídricas da videira na região do submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1559-1566, 2000.
- BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 273p., 1995.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL - based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.
- 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.
- GRANGER, R. J. Satellite-derived estimates of evapotranspiration in the Gediz basin. **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 70-76, 2000.
- GRIEND, A. A. van de & OWE, M. On the relationship between thermal emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 6, p. 1119 - 1131, 1993.

- LOPES, P. M. O. **Evapotranspiração da mangueira na região do Submédio São Francisco**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1999. 108p. (Dissertação de Mestrado).
- MARKHAM, B. L. & BARKER, J. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances, Int. **Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987.
- MOURA, M. S. B. **Fenologia e consumo hídrico da goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 2001. 124p. (Dissertação de Mestrado).
- ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S.B. **Microclimate: The biological environment**. 2<sup>nd</sup> Edition, Lincoln – Nebraska: John Wiley & Sons, 1983, 495p.
- SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 2000. 129p. (Tese de Doutorado).
- TEIXEIRA, A. H. C. Balanço de energia na cultura da bananeira no primeiro ciclo de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XI, 2000, Rio de Janeiro. *Anais...*, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000, CD-ROM.
- TEIXEIRA, A. H. C.; LOPES, P. M. O.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; SOARES, J. M. Balanço de radiação na cultura da mangueira In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XI, 2000, Rio de Janeiro. *Anais...*, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000, CD-ROM.