



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Saldo de radiação em Sobradinho – BA nos anos de 2003 e 2011 utilizando imagens do sensor TM Landsat 5**



Maryana C. Cordeiro<sup>1</sup>; Vicente de P. R. da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestranda em Meteorologia, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Fone: (82)9933-7626, e-mail: mary.cavalcante7@gmail.com

<sup>2</sup>Prof. Dr. em Recursos Naturais, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, e-mail: vicente@dca.ufcg.edu.br

**RESUMO** - O saldo de radiação é um importante componente do balanço de energia, do monitoramento climático e da previsão do tempo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da aplicação do modelo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) em estimar o saldo de radiação em superfície no ano de 2003 e 2011 em duas áreas distintas (irrigada e não irrigada) no município de Sobradinho, Bahia, fazendo um comparativo entre os dois anos, tendo como parâmetros dados do sensor TM Landsat 5. As variáveis estudadas constituem importantes parâmetros do tempo e do clima em estudos meteorológicos. Os resultados mostraram que tanto os valores da área irrigada quanto da área não irrigada obtiveram respostas proporcionais. Os valores do Índice de Vegetação e Saldo de Radiação diminuíram, enquanto que o albedo e a temperatura da superfície aumentaram entre 2003 e 2011, esta última chegando ao valor de 33°C em área não irrigada e 30°C em área irrigada no município estudado.

**PALAVRAS-CHAVE:** SEBAL, saldo de radiação, TM Landsat 5.

**ABSTRACT** - The net radiation is an important component of the energy balance of the climate monitoring and weather forecasting. The objective of this paper was to evaluate the implementation of the efficiency of the *Surface Energy Balance Algorithm for Land Model* (SEBAL) in estimating the net radiation at the surface in 2003 and 2011 in two different areas (irrigated and non-irrigated) in the city of Sobradinho, Bahia, making a comparison between the two years, with the parameter data of sensor TM Landsat 5. The variables are important parameters of the weather and climate in meteorological studies. The results showed that both the values of the irrigated area as non-irrigated area obtained proportionate responses. The values of Vegetation Index and Radiation Balance decreased, while the albedo and surface temperature increased between 2003 and 2011, the latter reaching the value of 33°C in non-irrigated area and 30°C in irrigated area in the city studied .

**KEYWORDS:** SEBAL, radiation balance, TM Landsat 5.

## **INTRODUÇÃO**

O conhecimento do saldo de radiação é fundamental em estudos agrometeorológicos, de monitoramento climático e previsão de tempo. Quando há necessidade de estimativa desse elemento em grandes áreas, as técnicas fundamentadas em medidas conseguidas por sensores orbitais são mais apropriadas porque reúnem grande cobertura espacial e têm baixo custo operacional.

Nos últimos anos têm sido propostos alguns algoritmos para o cálculo do balanço de energia à superfície; o mais destacado é o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), pois leva em consideração a variabilidade espacial de muitos elementos micrometeorológicos, através de funções semi-empíricas e pode ser aplicado em diversos agrossistemas (Bastiaanssen et al., 1998).

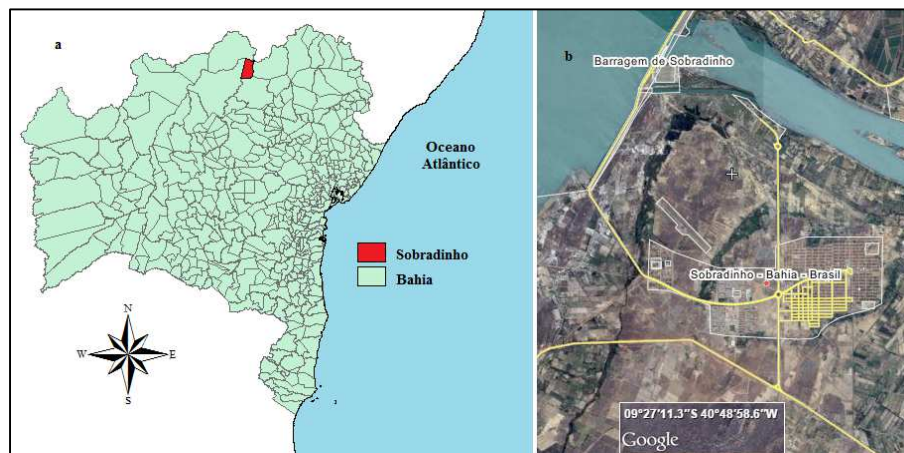
O saldo de radiação,  $R_n$ , não é usualmente medido em estações meteorológicas, uma vez que depende muito da natureza da superfície e, portanto, sofre grande influência do albedo e temperatura da superfície.

Ante o exposto se objetiva, neste trabalho, estimar o saldo de radiação à superfície terrestre mediante dados de imagens multiespectrais do satélite Landsat 5, analisando o comportamento das variáveis ao longo do tempo em área irrigada e não irrigada.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

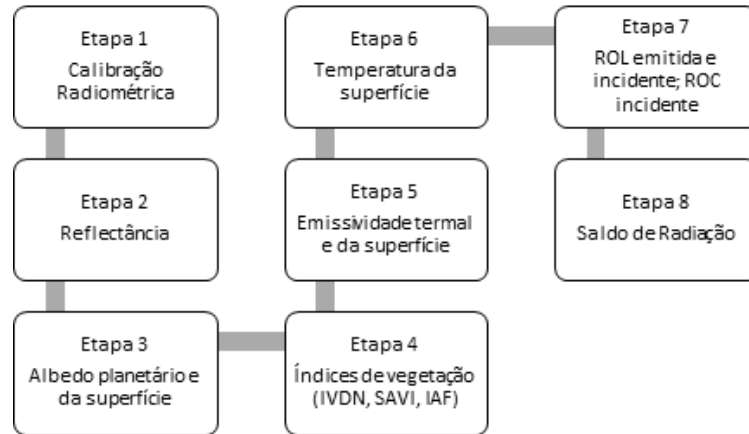
Sobradinho é um município brasileiro do estado da Bahia. Localiza-se a 09°27'18"S de latitude e 40°49'22"W de longitude, a uma altitude média de 380 metros, ocupando uma área de 1238,923 km<sup>2</sup>. Sua população em 2010 era de 22.000 habitantes (IBGE, Censo 2010). A Usina Hidrelétrica de Sobradinho é um aproveitamento hidrelétrico localizado no Rio São Francisco, no estado da Bahia, cerca de 40 km a montante das cidades de Juazeiro/BA e Petrolina/PE e distante, aproximadamente 470 km do complexo hidroenergético de Paulo Afonso. A usina hidrelétrica tem uma potência instalada de 1.050.000 kW(1.050MW) e conta com 6 máquinas geradoras (Wikimapia.org).



**Figura 1** – Mapa de localização do município de Sobradinho – BA. Em 1.a) é visto o município em relação ao estado da Bahia, e em 1.b) é visto a malha urbana da cidade e a sua barragem logo acima.

Foram obtidas imagens geradas pelo Mapeador Temático – TM do satélite Landsat 5, órbita 217 e ponto 67, junto ao *United States Geological Survey* - USGS. Cada imagem é composta por sete bandas espectrais com resolução espacial de 30 m x 30 m, exceto a banda 6 (banda termal), que possui resolução de 120 m x 120 m. Na determinação do saldo de radiação à superfície foram utilizados métodos do algoritmo SEBAL, manipulados no software ERDAS IMAGINE 2014, resumido no esquema da Figura 2, que representa as etapas de apuração das diferentes componentes do balanço de radiação. Conforme a Figura 2, a primeira etapa do balanço de radiação consiste na determinação da calibração radiométrica (radiância), seguida da reflectância, albedo e dos índices de vegetação. Com estes, calcularam-se as emissividades e a temperatura da superfície (T). Em seguida foram calculadas a Radiação de Onda Longa emitida e incidente e a Radiação de Onda Curta incidente, para depois obter o saldo de radiação.

**O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros**



**Figura 2** - Fluxograma das etapas do processamento do balanço de radiação à superfície.

A calibração radiométrica ( $L_{\lambda i}$ ) foi adquirida conforme a Equação I, indicada por Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

em que  $a_i$  e  $b_i$  são as radiâncias espectrais mínima e máxima ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ),  $DN$  é a intensidade do pixel, cujos valores variam entre 0 e 255, no caso do satélite Landsat 5,  $i$  corresponde às bandas (1, 2, ... e 7). A unidade de  $L_{\lambda i}$  é  $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ . Os coeficientes de calibração utilizados para o Landsat foram aqueles propostos por Chander & Markham (2003).

A reflectância de cada banda ( $\rho_{\lambda i}$ ) foi obtida aplicando a Equação II, de acordo com Allen et al., (2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{L_{\lambda i} \pi}{K_{\lambda i} \times \cos \theta \times dr} \quad (2)$$

em que  $L_{\lambda i}$  é a radiância espectral de cada banda,  $K_{\lambda i}$  é a constante monocromática solar associada à cada banda do sensor,  $\theta$  é o ângulo zenital do Sol e  $dr$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol. O cálculo de  $dr$  foi adquirido de acordo com a Equação 3:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left( DJ \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

onde  $DJ$  é o Dia Juliano, de ordem do ano em que foram obtidos os dados radiométricos (imagens de satélite), cujos valores corresponderam ao dia da geração das imagens.

O cálculo do albedo no topo da atmosfera foi realizado através de combinação linear das reflectâncias monocromáticas, obtido pela Equação 4:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (4)$$

onde,  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ ,  $\rho_4$ ,  $\rho_5$  e  $\rho_7$  são as reflectâncias nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

O albedo da superfície foi calculado através da Equação 5:

$$r_0 = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path\_radiance}}{\tau_{2sw}} \quad (5)$$

onde,  $\alpha_{toa}$  é o albedo planetário,  $\alpha_{path\_radiance} = 0,03$  é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera (Bastiaanssen, 2000) e  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica (Allen et al., 2002).

A transmissividade atmosférica foi computada em função da altitude local ( $z$ ), conforme a Equação 6:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5} \times z \quad (6)$$

Para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi usada a seguinte equação (Allen et al., 2002):

$$NDVI = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3) \quad (7)$$

O Índice de Vegetação Ajustado para os efeitos do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI*), proposto por Huete (1988), foi obtido pela Equação 8:

$$SAVI = (1+L) (\rho_4 - \rho_3) / (L + \rho_4 + \rho_3) \quad (8)$$

onde  $L = 0,5$  é o fator de ajuste do solo.

O Índice de Área Foliar (IAF) foi medido pela expressão empírica sugerida por Allen et al., (2002) aplicando a Equação 9:

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (9)$$

Para o cálculo da temperatura da superfície ( $T$ ) foi utilizada a equação de Planck invertida. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, é necessário introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal  $\epsilon_{NB}$ . Segundo Allen et al., (2002), as emissividades  $\epsilon_{NB}$  (Equação 10) e  $\epsilon_0$  (Equação 11) podem ser adquiridas, conforme:

$$\begin{aligned} \epsilon_{NB} &= 0,97 + 0,0033 \times IAF & (10) \\ \epsilon_0 &= 0,95 + 0,01 \times IAF & (11) \end{aligned}$$

Foi considerado  $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$  quando  $IAF \geq 3$  e  $NDVI < 0$ . Para corpos d'água  $\epsilon_{NB} = 0,99$  e  $\epsilon_0 = 0,985$  de acordo com Allen et al., (2002).

A obtenção da Temperatura da Superfície ( $T$ ) é determinada em função da radiância espectral da banda 6 (termal) e da emissividade termal (Equação X) através da seguinte expressão (Allen et al., 2002):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda 6}} + 1\right)} \quad (12)$$

em que  $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ,  $K_2 = 1260,56 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ,  $L_{\lambda 6}$  é a radiância espectral da banda 6,  $\epsilon_{NB}$  é a emissividade de cada pixel na porção da banda termal do TM Landsat 5.

A radiação de onda longa emitida ( $RL_{\uparrow}$ ) foi calculada segundo a equação de Stefan-Boltzmann:

$$RL_{\uparrow} = \epsilon_0 \times \sigma \times T^4 \quad (13)$$

em que,  $\epsilon_0$  e  $T$  representam a emissividade e a temperatura de cada pixel da imagem, respectivamente,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann.

A radiação de onda curta incidente ( $RS_{\downarrow}$ ) para condição de céu claro é dada pela seguinte expressão (Allen et al., 2002)

$$RS_{\downarrow} = G_{sc} \times \cos\theta \times dr \times \tau_{sw} \quad (14)$$

em que,  $G_{sc}$  é a constante solar e  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica.

A radiação de onda longa incidente ( $RL_{\downarrow}$ ) também foi estimada por meio da equação de Stefan-Boltzmann:

$$(15)$$



$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \times \sigma \times T_a^4$$

em que,  $T_a$  é a temperatura do ar,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann e  $\varepsilon_a$  é a emissividade atmosférica calculada por

$$\varepsilon_a = 0,85N - (\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (16)$$

A Equação a seguir foi utilizada para o cálculo do saldo de radiação ( $R_n$ ):

$$R_n = (1 - \alpha) R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0) R_{L\uparrow} \quad (17)$$

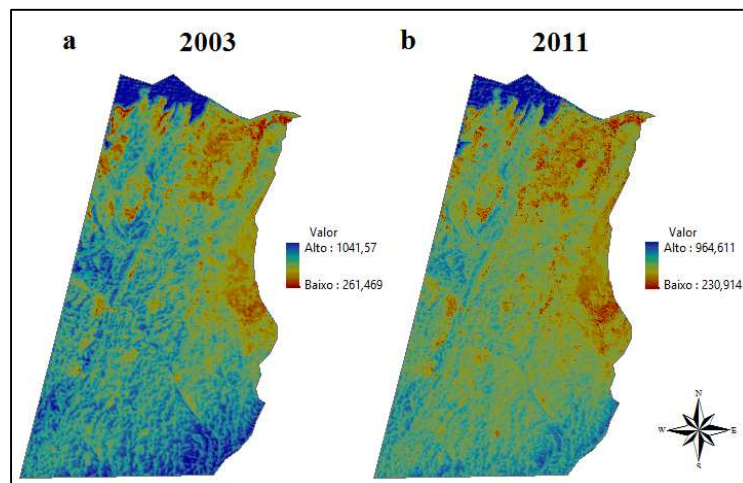
em que,  $R_{S\downarrow}$  é a radiação de onda curta incidente em cada pixel,  $\alpha$  é o albedo de cada pixel,  $R_{L\downarrow}$  é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção do pixel,  $R_{L\uparrow}$  é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e  $\varepsilon_0$  é a emissividade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão incluídos na Tabela 1. O Saldo de Radiação é representado na Figura 3.

**Tabela 1** – Resultados do estudo para Sobradinho em área irrigada e não irrigada, com valores de emissividade da superfície, índice de vegetação, albedo, temperatura e saldo de radiação.

Área de estudo	2003					2011				
	$\varepsilon_0$	IVDN	$\alpha$ (%)	T (°C)	Rn (W.m <sup>-2</sup> )	$\varepsilon_0$	IVDN	$\alpha$ (%)	T (°C)	Rn (W.m <sup>-2</sup> )
Área irrigada	0,951	0,572	13,3	28,9	661,78	0,952	0,529	23,1	30,11	583,02
Área não irrigada	0,985	0,236	20,6	32,77	580,08	0,965	0,196	30,3	33,18	508,63



**Figura 3** – Saldo de radiação em a) para o ano de 2003 e em b) para o ano de 2011 para o município de Sobradinho - BA.

De acordo com os resultados, pode-se perceber que de 2003 para 2011 a emissividade da superfície teve um pequeno aumento na área irrigada e uma diminuição na área não irrigada. Em 2003 a diferença da emissividade nas áreas irrigada e não irrigada era de 0,034. Já em 2011 essa diferença diminuiu para 0,013, isso mostra que houve uma maior energia absorvida nas duas áreas. O índice de vegetação – IVDN diminuiu consideravelmente nas duas áreas de estudo, isso implica numa maior área urbanizada e uma diminuição de áreas verdes. O albedo e a temperatura aumentaram nas duas áreas, isso sugere uma maior taxa de aquecimento o que implica numa maior reflexão da energia incidente e menor área vegetada. O saldo de radiação diminuiu bruscamente tanto na área irrigada como na área não irrigada.

Os valores do saldo de radiação e o albedo obtidos nas áreas selecionadas estão em consonância com aqueles obtidos em outras áreas, evidenciando sua sensibilidade a diferentes ocupações do solo. A área urbanizada está aumentando e superaquecendo a superfície. A presença das áreas irrigadas na cena de estudo contribui para reduzir a temperatura da superfície e o albedo, conseqüentemente, colabora para diminuir a temperatura do ar, afetando o clima localmente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. (2002). **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0.**
- Bastiaanssen, W. G. M. et al. **Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) - Formulation.** Journal of Hydrology, v. 212-213, p. 198-212, 1998.
- Bastiaanssen, 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.
- Chander, G.; Markham, B. (2003). **Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. v. 41, n. 11, p. 2674-2677.
- Huete, A. R. **A soil adjusted vegetation index – SAVI.** Remote Sensing of Environment, v. 25, p. 295-309, 1998.
- IBGE, disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 04 de Março de 2015.
- Markham, B.L.; Barker, L.L. (1987). **Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances.** International Journal of Remote Sensing, v. 8, n. 3, p. 517-523.
- Wikimapia, disponível em [www.wikimapia.org](http://www.wikimapia.org). Acessado em 04 de Março de 2015.