



## 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*

## **Estimativa de componentes do balanço de energia usando o modelo SEBAL para o município de São Gabriel da Cachoeira - Amazonas**



*Gabrielle Bezerra Oliveira<sup>1</sup>; Magaly de Fatima Correia<sup>2</sup>; Fellipe Pereira da Silva<sup>3</sup>;*

<sup>1</sup> Bacharela em Meteorologia, Mestranda em Meteorologia, Depto. de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande – PB, Fone: (83) 98876 9324, gabrielle.121@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutora em Meteorologia, Prof. Associada, UFCG, Campina Grande – PB

<sup>3</sup> Bacharel em Meteorologia, Mestrando em Meteorologia, UFCG, Campina Grande – PB

**RESUMO:** Neste estudo o principal objetivo foi estimar os principais componentes do balanço de energia, incluindo temperatura à superfície (T), albedo ( $\alpha$ ) e saldo de radiação (Rn) da cidade de São Gabriel da Cachoeira-AM, inserida na Floresta Amazônica e localizada às margens do Rio Negro, utilizando técnicas de sensoriamento remoto a partir de imagens do sensor TM Landsat-5 e aplicação do algoritmo SEBAL. O levantamento do uso e cobertura da terra (CUT) é de grande importância, na medida em que os efeitos do uso desordenado da terra causam deterioração do ambiente. Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados de reservatórios e cursos d'água são consequências do uso inadequado da terra. Os resultados mostraram que os parâmetros estudados apresentaram contrastes significantes nos seus valores tanto entre áreas urbanas e fluviais, como também na cobertura vegetal, indicando a expansão da área urbana.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto, algoritmo SEBAL, São Gabriel da Cachoeira

### **Estimation of components of energy balance using remote sensing techniques with application of SEBAL model for the municipality of São Gabriel da Cachoeira - Amazonas**

**ABSTRACT:** The main objective of this study was to estimate the main components of the energy balance, including surface temperature (T), ( $\alpha$ ) albedo and radiation balance (Rn) of the city of São Gabriel da Cachoeira-AM, inserted in the Amazon forest and located on the shores of the Rio Negro, using techniques of remote sensing images from Landsat-5 TM sensor and application of SEBAL algorithm. The survey of use and land cover (CUT) is of great importance, insofar as the effects of overuse of the Earth cause deterioration of the environment. Intense erosion processes, floods, the rampant assoreamentos of reservoirs and watercourses are consequences of the improper use of the land. The results showed that the parameters studied showed significant contrasts in their values both between urban areas and river, as well as on vegetation cover, indicating the expansion of the urban area.

**KEY WORDS:** remote sensing, SEBAL algorithm, São Gabriel da Cachoeira

## **INTRODUÇÃO**

O balanço de energia na superfície está associado à dinâmica dos processos de interação superfície-atmosfera e têm um importante papel no sistema climático terrestre, por meio das trocas de calor, umidade, momento e radiação (Stull, 1988). As influências do homem no equilíbrio natural do planeta atingiram magnitude sem precedentes.

Por não conhecer as principais alterações que ocorrem no clima urbano, especialmente daquelas diretamente relacionadas ao balanço de energia à superfície, advindas da substituição da cobertura vegetal nativa para a abertura de novas ruas, avenidas, edificações, dentre outras que modificam as

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

características de reflectância da superfície e, conseqüentemente, os principais componentes do balanço de energia. Este trabalho tem como objetivo estimar os principais componentes do balanço de energia, incluindo temperatura à superfície (T), albedo ( $\alpha$ ) e saldo de radiação (Rn) para a cidade de São Gabriel da Cachoeira – AM. Utilizando imagens do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite Landsat 5 e com aplicação do algoritmo SEBAL.

**MATERIAIS E MÉTODOS**

A área de estudo compreende o município de São Gabriel da Cachoeira (00° 7' 48" S; 67° 5' 20" O; 90 m) localizado às margens da Bacia do Rio Negro, no interior do estado do Amazonas. Dista 852 quilômetros de Manaus, capital do estado. Com um clima tropical, apresenta temperatura média de 26.4 °C e pluviosidade média anual de 2909 mm. Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a temperatura mínima registrada em São Gabriel da Cachoeira foi de 16,6 °C, ocorrida no dia 19 de julho de 1975. Já a máxima foi de 39,0 °C, observada dia 22 de setembro de 2002. O maior acumulado de chuva registrado na cidade em 24 horas foi de 179,5 mm, em 30 de maio de 1973.

Para a realização deste estudo utilizou-se uma imagem do satélite Landsat 5 TM, na órbita 3, ponto 60, do dia 12/10/2008, considerando a disponibilidade em ambiente virtual do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para visualizar e realizar as manipulações da imagem, como recortes, classificação e outros procedimentos, foi utilizado o programa ERDAS Imagine 2014. O processamento da imagem foi feito utilizando a ferramenta Model Maker. Para a obtenção das variáveis em estudo foi empregado o algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). Em seguida, foram realizadas as etapas do processamento das imagens utilizando o modelo SEBAL para a obtenção do saldo de radiação (Rn).

Primeiramente foi feito a calibração radiométrica ( $L_{\lambda i}$ ), obtida segundo a Equação 1, proposta 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 ( $Wm^2sr^{-1}\mu m^{-1}$ ), ND é a intensidade do pixel, cujos valores variam entre 0 e 255, no caso do satélite Landsat, e  $i$  corresponde às bandas (1, 2, ... e 7). A unidade de  $L_{\lambda i}$  é  $Wm^2sr^{-1}\mu m^{-1}$ . 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 2, segundo Allen et al. (2002):

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

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  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol. O cálculo de  $d_r$  foi obtido de acordo com a Equação 3:

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

onde DJ é o dia 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, respectivamente.

O albedo da superfície foi computado através da Equação 5:

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

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

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:

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

Para o cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi utilizada a seguinte equação (Allen et al., 2002):

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (7)$$

O índice de vegetação ajustado para os efeitos do solo (*Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI*), proposto por Huete (1988), foi obtido pela Equação 8:

$$SAVI = \frac{0,5(\rho_4 - \rho_3)}{(0,5 + \rho_4 + \rho_3)} \quad (8)$$

O índice de área foliar (IAF) foi calculado por expressão empírica proposta 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 cômputo da temperatura da superfície foi utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro para o qual a emissividade é igual a 1. 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  $\varepsilon_{NB}$  para fins do cômputo da  $T_s$ , bem como no cômputo da radiação de onda longa emitida pela superfície, nesse caso considerada a emissividade da banda larga  $\varepsilon_0$  (5 – 100  $\mu\text{m}$ ). Segundo Allen et al. (2002), as emissividades  $\varepsilon_{NB}$  (Equação 10) e  $\varepsilon_0$  (Equação 11) podem ser obtidas, segundo:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033 \cdot IAF \quad (10)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \cdot IAF \quad (11)$$

Foi considerado  $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$  quando  $IAF \geq 3$  e  $NDVI < 0$ . No caso de corpos d'água  $\varepsilon_{NB} = 0,99$  e  $\varepsilon_0 = 0,985$ , de acordo com proposta de Allen et al. (2002). A obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ ) é determinada em função da radiância espectral da banda 6 (termal) e da emissividade termal (Equação 10) através da seguinte expressão (Allen et al., 2002):

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

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,  $\varepsilon_{NB}$  é a emissividade de cada pixel na porção da banda termal do Landsat 5 – TM. A radiação de onda longa emitida ( $R_{L\uparrow}$ ) foi calculada segundo a equação de Stefan-Boltzmann:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (13)$$

em que,  $\varepsilon_0$  e  $T_s$  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 ( $R_{S\downarrow}$ ) para condição de céu claro é dada pela seguinte expressão (Allen et al., 2002):

$$R_{S\downarrow} = G_{SC} \cdot \cos\theta \cdot d_r \cdot \tau_{sw} \quad (14)$$

em que,  $G_{SC}$  é a constante solar e  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica. A radiação de onda longa incidente ( $R_{L\downarrow}$ ) também foi estimada por meio da equação de Stefan-Boltzmann:

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (15)$$

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  $h = 0,85N(-\ln \tau_{sw})^{0,09}$ . A Equação 16 foi utilizada para o cálculo do saldo de radiação ( $R_n$ ):

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\uparrow} \quad (16)$$

*O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

em que,  $R_{s\downarrow}$  é a radiação de ondas curtas incidente,  $\alpha$  é o albedo,  $R_{L\downarrow}$  é a radiação de ondas longas emitida pela atmosfera na direção do pixel,  $R_{L\uparrow}$  é a radiação de ondas longas emitida e  $\varepsilon_0$  é a emissividade. O fluxo de calor no solo ( $G$ ) pode ser obtido segundo equação empírica desenvolvida por Bastiaanssen (2000):

$$G = \left[ \frac{T_s}{\alpha} (0,0038 \cdot \alpha + 0,0074 \cdot \alpha^2) \cdot (1 - 0,98)NDVI^4 \right] R_n \quad (17)$$

onde  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $\alpha$  é o albedo da superfície e NDVI e  $R_n$  representam respectivamente, o índice de vegetação da diferença normalizada e o saldo de radiação, todos computados pixel a pixel. O fluxo de calor sensível  $H$  ( $Wm^{-2}$ ) foi estimado por:

$$H = \rho c_p \frac{(b + aT_s)}{r_{ah}} \quad (18)$$

onde  $\rho$  é a massa específica do ar ( $kg.m^{-3}$ ),  $c_p$  é o calor específico do ar ( $J.kg^{-1}.k^{-1}$ ),  $T_s$  é a temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ),  $a$  e  $b$  são constantes de calibração da diferença da temperatura entre dois níveis e  $r_{ah}$  é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor em  $ms^{-1}$ . O fluxo de calor latente ( $LE$ ) é definido como a taxa de calor cedido à água da superfície (solo e/ou planta) para que a mesma evapore ou transpire, e foi obtido pela seguinte equação:

$$LE = R_n - G - H \quad (19)$$

onde,  $R_n$  é saldo de radiação,  $G$  o fluxo de calor no solo e  $H$  o fluxo de calor sensível obtidos no instante da passagem do satélite.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações espaciais do albedo da superfície da cidade de São Gabriel da Cachoeira-AM, em 12/10/2008 variaram de 0,02 a 0,25. Nos corpos d'água os valores do albedo de superfície foram os menores. Os maiores valores foram encontrados nas áreas urbanas. Nota-se ainda que o albedo da superfície do solo descoberto alcançou percentuais em torno de 25% e nas áreas de mata fechada o coeficiente de reflexão ficou em torno de 9,5%. Essas variações nos valores do albedo se devem a vários fatores, dentre eles a época do ano, a cor da superfície, o tipo de cobertura vegetal dentre outros.

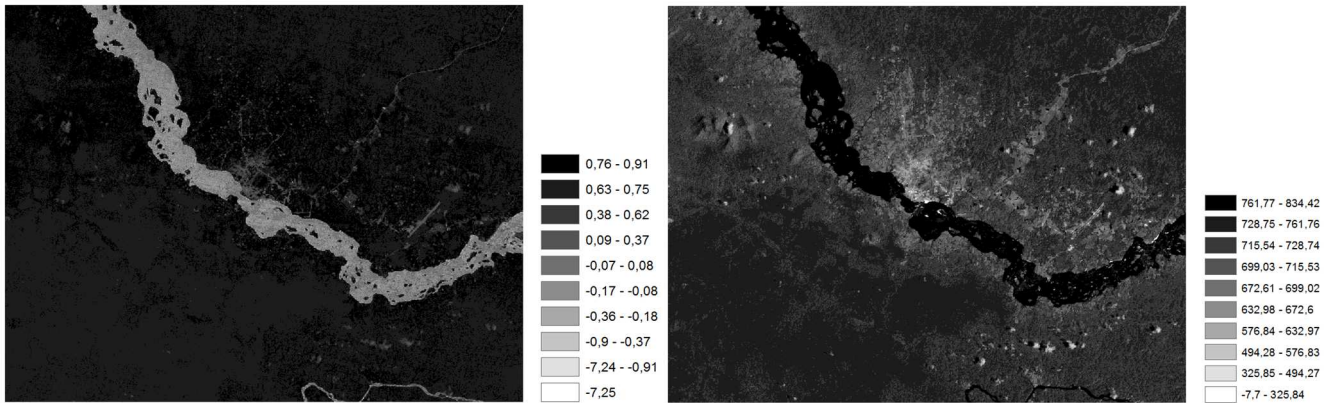
Os valores dos índices de vegetação por diferença normalizada (NDVI) estão representados na Figura 1a, nota-se que os valores oscilaram de -7,25 à 0,91, sendo os maiores valores referentes às áreas vegetadas. Estes valores estão de acordo com os encontrados na baixa refletividade da superfície, devido à pequena quantidade de cobertura vegetal, as áreas onde o albedo da superfície teve valores altos correspondem às áreas de baixo valor de NDVI.

O saldo de radiação disponível à superfície ( $R_n$ ) é usado na evapotranspiração, no aquecimento do solo e do ar e na atividade fotossintética dos vegetais. Todos os parâmetros anteriormente estudados (temperatura, albedo, cobertura do solo, relevo, dentre outros) contribuem na variação do saldo de radiação à superfície. O  $R_n$  (Figura 1b) é contabilizado pela energia incidente que chega (ondas curtas) menos a energia emitida pela superfície (ondas longas). Nota-se que o  $R_n$  variou de 325,85 à 834,42  $W.m^{-2}$ . Os maiores valores foram encontrados para os locais onde há corpos d'água e os menores valores para o solo exposto. Portanto, pode-se observar uma concordância com as áreas com maiores valores de albedo, menores índices de vegetação e, conseqüentemente, menores  $R_n$ , devido o balanço de energia incidente no solo exposto.

A variação espacial da temperatura da superfície apresenta uma variação entre 285 e 296 K e uma amplitude térmica de 14 K. É verificado que os corpos d'água apresentam os menores valores de temperatura da superfície, enquanto que as áreas urbanas apresentam regiões mais quentes devido ao adensamento populacional e as alterações da cobertura do solo.

Verifica-se que a emissão de onda longa é mais alta nas áreas urbanas, onde menos radiação é utilizada na evapotranspiração e pela vegetação que a utiliza na fotossíntese.





**Figura 2.** Mapa temático do NDVI (a) e saldo de radiação à superfície (b) na cidade de São Gabriel da Cachoeira, em 12/10/2008.

## CONCLUSÕES

A partir das análises apresentadas neste trabalho conclui-se que o saldo de radiação ( $R_n$ ) obtido através de aplicações do sensor TM a bordo do satélite LANDSAT-5, apresentou variação de valores conforme o esperado.

Para solo exposto, ou seja, as áreas urbanas, os valores de  $R_n$  foram mais baixos e os maiores valores nas áreas de menor influência antrópica (água e vegetação densa), portanto, pode-se observar uma concordância com as áreas com maiores valores de albedo, menores índices de vegetação e, conseqüentemente, menores  $R_n$  devido o balanço de energia incidente no solo exposto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G; TREZZA, R.; TASUMI, M. (2002). Surface Energy Balance Algorithms for Land. Advance training and users manual, version 1.0, PP.98.
- BASTIAANSSEN, W.G.M. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hidrology, v. 229, p. 87-100.
- BEZERRA, B.G.; Silva, B.B.; Ferreira, N.J. (2008). Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 3, p. 305-317.
- 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.
- HUETE, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25, 295–309.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2010. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br/>. Acesso em 09 de fevereiro de 2015.



## **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***

MACHADO, C.C.C.; Galvíncio, J.D.; Pereira, E.C.G. (2010). Utilização do IVAS e da Temperatura da superfície para análise multitemporal das mudanças ambientais no Parque Natural da Serra da Estrela (Portugal). VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra. pp. 1-12.

MARKHAM, B. L. & BARKER, J. B. (1987). Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. International Journal of Remote Sensing. V. 8, N. 3, P. 517-523.

STULL, R. B. (1988). An introduction to boundary layer meteorology. Xii+666 pp. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. ISBN 90 227 2768 6; 90 227 2769 4 9 (papearback).