

## Estimativa do saldo de radiação à superfície em área de cerrado amazônico utilizando imagem Landsat 5 – TM

Jonathan Castro Amanajás<sup>1</sup>  
Célia Campos Braga<sup>2</sup>  
Clênia Rodrigues Alcântara<sup>3</sup>  
Leandro Fontes de Sousa<sup>4</sup>  
Gabrielle Bezerra Oliveira<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário.

CEP: 58429-900. Campina Grande – PB, Brasil.

<sup>1</sup>jonathan.amanajas@hotmail.com

<sup>2</sup>celia@dca.ufcg.edu.br

<sup>3</sup>clenia@gmail.com

<sup>4</sup>fontes.leandro@yahoo.com.br

<sup>5</sup>gabrielle.121@hotmail.com

**Abstract.** Remote sensing may be used to identify changes that occur in land use of Earth, resulting from natural and/or anthropic processes. Many of these changes can be diagnosed from the monitoring of radiative exchanges that take place at the surface. Net radiation is an important component of the surface energy balance in hydrological studies. In spite of existing weather stations in Brazil, equipped with pyranometers, we cannot forget its size and that the measures of solar radiation are representative of a limited area. Because of that, the use of techniques of remote sensing to complement meteorological information on a certain place becomes indispensable. In this sense, this study aims to determine the net radiation at surface, by means of satellite image covers part of the amazon cerrado, State of Amapá, Brazil. A Landsat 5 - TM image obtained in October 26, 2006 was used to generate map of instantaneous net radiation ( $R_n$ ) based on algorithm SEBAL. The instantaneous  $R_n$  values varied between 222.73 and 530.0  $Wm^{-2}$ , with average of 376.37  $W.m^{-2}$ . The anthropic areas showed decrease in net radiation, while forests areas showed increase. According to the results, it may be concluded that the methodology used for net radiation determination presented coherence when compared to other studies in the literature.

**Palavras-chave:** remote sensing, surface albedo, NDVI, sensoriamento remoto, albedo da superfície, IVDN.

### 1. Introdução

Nos últimos anos, a região amazônica vem enfrentando grandes problemas em decorrência do uso e ocupação do solo, principalmente, pelo agronegócio (silvicultura) e pecuária. Tais problemas têm comprometido sobremaneira o uso não sustentável dos recursos hídricos e biomas naturais da região, como o cerrado, que com a necessidade de expansão destes empreendimentos passa por intensos processos de degradação.

Um monitoramento mais racional destas áreas deve ser priorizado, principalmente, durante o período menos chuvoso da região, época em que ocorrem os maiores focos de incêndio. A determinação do albedo, índices de vegetação e estimativa do saldo de radiação em escala local, com base em imagens de satélite e algoritmos que permitem a conversão de medidas instantâneas em totais diários de radiação, representa uma grande contribuição ao estudo de áreas de acesso restrito (Bastiaanssen et al., 1998a,b).

Segundo Leitão (1989), os valores de albedo de um solo exposto atingem valores mínimos em torno do meio-dia, e máximos próximos ao nascer e por do sol. Já o albedo de uma superfície vegetada pode variar de acordo com o ângulo de elevação do Sol, o tipo de vegetação, as condições de umidade do ar e da superfície, a umidade e tipo de solo, além da quantidade e do tipo de nuvens (Blad e Baker, 1972; Leitão, 1989; Azevedo et al., 1990). Assim, uma sequência de imagens de albedo pode ser usada para mostrar mudanças na

superfície de determinada região, uma vez que o albedo é maior em solo exposto, e menor em solos úmidos e com grande densidade de vegetação.

O saldo de radiação é um dado indispensável neste monitoramento, pois representa a principal fonte de energia para os processos físico-químicos que ocorrem na interface superfície-atmosfera, sendo utilizado no aquecimento do ar e do solo; transferência da água, na forma de vapor, da superfície para a atmosfera através da evapotranspiração; e metabolismo das plantas, especialmente a fotossíntese.

Silva et al. (2005) relata que o saldo de radiação é uma informação importantíssima, pois é a variável básica na estimativa da evapotranspiração e cálculo do balanço hídrico, essenciais para a utilização racional dos recursos hídricos e o uso sustentável dos recursos naturais.

Para a estimativa do saldo de radiação faz-se necessário a estimativa de dois parâmetros muito importantes: o albedo e a temperatura da superfície. Para estimar o albedo com precisão é necessário conhecer as interferências atmosféricas, que é muito dependente do perfil vertical de temperatura e da umidade, dados nem sempre disponíveis.

Muitos instrumentos são capazes de medir com boa precisão o saldo de radiação. Entretanto, estes proporcionam medidas pontuais, representativas apenas para áreas de pequena dimensão. Quando há necessidade de estimativa dessa variável em grandes áreas, as técnicas baseadas em medições realizadas por sensores orbitais são mais apropriadas, pois 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 grossistemas (Bastiaanssen et al., 1998a).

Assim, este trabalho tem por objetivo estimar, através de técnicas de sensoriamento remoto, o saldo de radiação à superfície, com valores espacializados sobre uma porção de cerrado amazônico, ao sul do Estado do Amapá, mediante imagens com base nas sete bandas espectrais do Satélite Landsat 5 – TM (Mapeador Temático), utilizando o algoritmo SEBAL, para o dia 26 de outubro de 2006.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área selecionada para a pesquisa compreende parte do município de Macapá, Estado do Amapá (extremo norte da Amazônia Oriental), contemplando em parte, área de cerrado e área urbana do município. Na Figura 1 está representada a área estudada, resultante de uma composição RGB das bandas 4, 3 e 2, do Satélite Landsat 5 – TM.

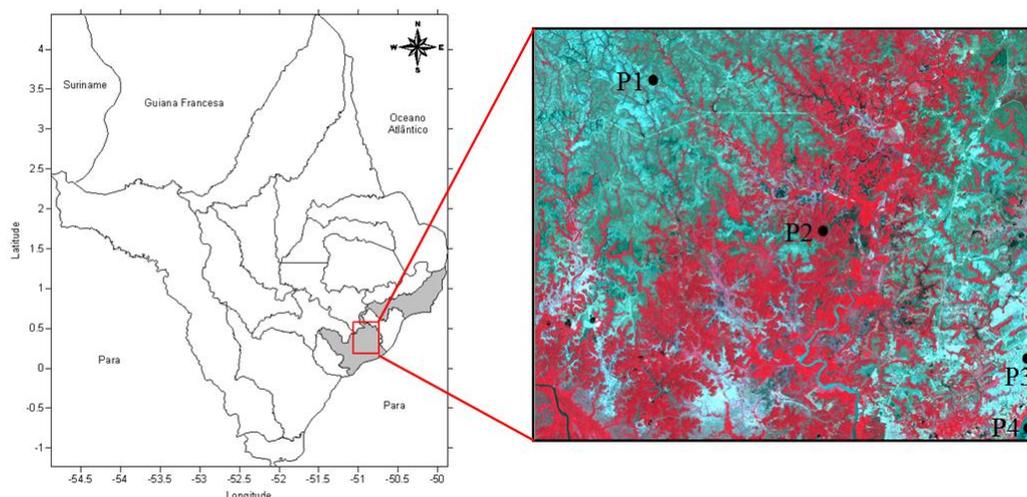


Figura 1. Imagem Landsat 5 – TM do dia 26/10/2006 na região do município de Macapá, AP.



atmosfera ( $R_{L\downarrow}$ ), utilizou-se a emissividade atmosférica ( $\epsilon_0$ ), a constante de Stefan-Boltzmann e a temperatura do ar, obtida na estação meteorológica automática de Macapá pertencente ao Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (latitude  $0,96^\circ$  Norte, longitude  $50,86^\circ$  Oeste e 15 m de altitude), no momento da passagem do satélite (Bastiaanssen et al., 1998a). A radiação de onda longa emitida ( $R_{L\uparrow}$ ), foi calculada utilizando a emissividade ( $\epsilon_0$ ), numa banda mais extensa (6-14  $\mu\text{m}$ ), a constante de Stefan-Boltzmann e a temperatura da superfície.

### 3. Resultados e Discussão

Adotaram-se, para fins comparativos, os seguintes alvos: cerrado (P1) – vegetação campestre, marcada por uma flora lenhosa dispersa; floresta de transição (P2) – de extensões variáveis entre a floresta densa de terra firme e o cerrado, com uma estrutura florística de alto porte e bem desenvolvida, bem como áreas florestais de transição entre os ambientes inundáveis e o cerrado; zona urbana (P3) – sede municipal; e água (P4) – rios e lagos, todos representados na Figura 1.

O albedo da superfície ( $\alpha$ ), definido como o coeficiente de reflexão da superfície para radiação de ondas curtas e dado pela razão entre a radiação de onda curta refletida e a incidente, apresentou aumento das classes superiores a 30% em áreas de cerrado e zona urbana (Figura 3a). Verificou-se que as áreas com temperaturas à superfície superiores a  $35^\circ\text{C}$  (Figura 3c) apresentaram albedo maior que 30%. O albedo também variou em relação ao tipo de solo presente na área. Áreas de cerrado ou solo exposto e zona urbana (P1 e P3, respectivamente) apresentaram variação entre 25 e 45%, enquanto que a área de floresta ou solo úmido (P2), variou entre 5 e 25% e sobre a água próximo de zero.

Esta redução com a umidade pode ser explicada devido o albedo da água ser significativamente menor que o albedo do solo seco. Na literatura mais comumente utilizada, os valores de albedo da superfície terrestre variam de 5% a 55% dependendo do tipo de cobertura, coloração, teor de umidade, minerais e propriedades físicas e químicas do solo, tal como observado na presente análise.

Já as superfícies vegetadas (P2) exibiram diferentes valores de albedo, que variaram de acordo com o estágio de desenvolvimento e tipo de vegetação, as quais apresentaram valores entre 10 a 25% (Figura 3a). Para estas superfícies, cobertas por vegetação, o albedo diminuiu em decorrência da maior utilização pelas plantas da energia incidente, seja nos processos de fotossíntese ou transpiração.

As áreas com corpos d'água, leito dos rios Amazonas e Matapí (P4), apresentaram valores de albedo entre 5 a 20%. Estudos realizados por Oke (1987) também mostraram valores de albedo de alguns alvos da superfície terrestre como água, apresentando variação de 3 a 10%, floresta decídua com folhas, com valores que variaram entre 5 e 15%, solo exposto seco e claro com albedo de 40% e áreas urbanas variando entre 10 a 27%, os quais, quando comparados com os valores obtidos por estes alvos nesta pesquisa, se mostraram compatíveis.

O IVDN obtido através das refletâncias das bandas 3 e 4 do Landsat 5 – TM fornece informações sobre a quantidade e a condição da vegetação verde. Observou-se que quanto maior a densidade foliar sobre a região de estudo, maior o IVDN (Figura 3b), sendo este máximo na área (P2) e negativo em (P4), como esperado. Cerca de 40% da área de estudo apresentou IVDN menor que 0,40, caracterizando as áreas com solo exposto ou vegetação rala, tipicamente características do cerrado amazônico. O estudo deste índice é importante para a avaliação das necessidades hídricas deste bioma, uma vez que durante o período menos chuvoso da região é que ocorrem os maiores números de focos de incêndio, levando muitas vezes à morte sua vegetação. As áreas em azul correspondem a água, que em estado líquido absorve radiação na faixa do infravermelho próximo (Moreira, 2003), o que explica resultados negativos de IVDN.

A obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ ) terrestre por meio de sensoriamento remoto é importante na detecção e monitoramento de recursos hídricos, bem como na estimativa da radiação de onda longa emitida por cada pixel, sendo esta indispensável no cálculo do balanço de radiação à superfície. A  $T_s$  é obtida através da radiância da banda termal, que no satélite Landsat 5 - TM é dado pela banda 6 (10,4 – 12,5  $\mu\text{m}$ ), porém há que se considerar os problemas resultantes dos efeitos de absorção atmosférica e da emissividade da superfície (Silva, 2004).

Na Figura 3c observou-se que sobre solo exposto ou com vegetação rala a  $T_s$  instantânea variou entre 35 e 46°C, pois nestas áreas a maior parte da energia emitida pelo solo é convertida em calor sensível e conseqüentemente usada para aumentar a temperatura. Na área de floresta, a variação foi de 18 a 35°C, ou seja, a cobertura vegetal foi a principal responsável pela variação da  $T_s$ . As maiores temperaturas, cerca de 45°C, foram observadas na zona urbana e solo exposto, e as menores, da ordem de 15°C, sobre corpos d'água, pois nestas áreas a maior parte da energia emitida é convertida em calor latente de evaporação e pequena porção utilizada para o variação da temperatura.

Grande parte destas áreas apresenta algum tipo de vegetação o que provoca a amenização das temperaturas. Já em áreas de solo exposto e vegetação rala, como aquelas do cerrado, localizadas a noroeste da zona urbana, observou-se um aumento de seus valores.

O saldo de radiação à superfície ( $R_n$ ) exerce um papel fundamental nos métodos que estimam a evapotranspiração, componente essencial do balanço hídrico. Na Figura 3d é apresentado o mapa temático de  $R_n$ . Pode-se observar que os valores obtidos variaram de 222,73 a 530,00  $\text{W.m}^{-2}$ , com média de 376,37  $\text{W.m}^{-2}$ . As áreas cuja escala colorimétrica variam do vermelho ao amarelo, representam menor saldo, ocorrendo o contrário com as áreas em azul. Os maiores valores de  $R_n$ , ou seja, menores valores da radiação de onda longa foram observados na água, resultantes do baixo albedo e alta absorção radiativa (alto calor específico). Áreas vegetadas também apresentaram altos valores de  $R_n$ , pois o albedo destas superfícies foi baixo, bem como a emissão da radiação infravermelha. Já os menores valores de  $R_n$  (maiores valores da radiação de onda longa) ocorreram em áreas de solo exposto, vegetação rala e zona urbana.

Silva et al. (2005), Gomes et al. (2009) e Gusmão et al. (2012) usando imagens do satélite Landsat 5 – TM, sobre alvos que envolviam corpos d'água, áreas de vegetação nativa, solo exposto e zona urbana, nos Estados de Pernambuco e Bahia; São Paulo e Tocantins, respectivamente, encontraram os maiores valores de  $R_n$  sobre corpos d'água e os menores sobre área de solo exposto. A tendência de maiores valores de  $R_n$  sobre superfícies líquidas e menores sobre os demais tipos de superfícies, encontrada pelos autores, corrobora com os resultados encontrados na presente análise.

Os resultados encontrados neste estudo podem ser explicados pelo efeito combinado do albedo e da  $T_s$ , pois o primeiro influencia o balanço de ondas curtas e o segundo o balanço de ondas longas. Um menor albedo, caso observado sobre corpos d'água e floresta de transição, favorece uma menor reflexão da  $R_{s\downarrow}$  e isso contribui para que o balanço de ondas curtas seja maior, quando comparado ao cerrado de maior reflexão, logo maior albedo. Enquanto que, uma menor  $T_s$ , caso observado sobre corpos d'água e floresta de transição, favorecerá para que o balanço de ondas longas seja menor (em termos de valor) quando comparado a superfícies com maiores temperaturas (solo exposto e zona urbana). Portanto, um menor valor de albedo e  $T_s$  favorece para que o saldo de radiação seja maior sobre corpos d'água.

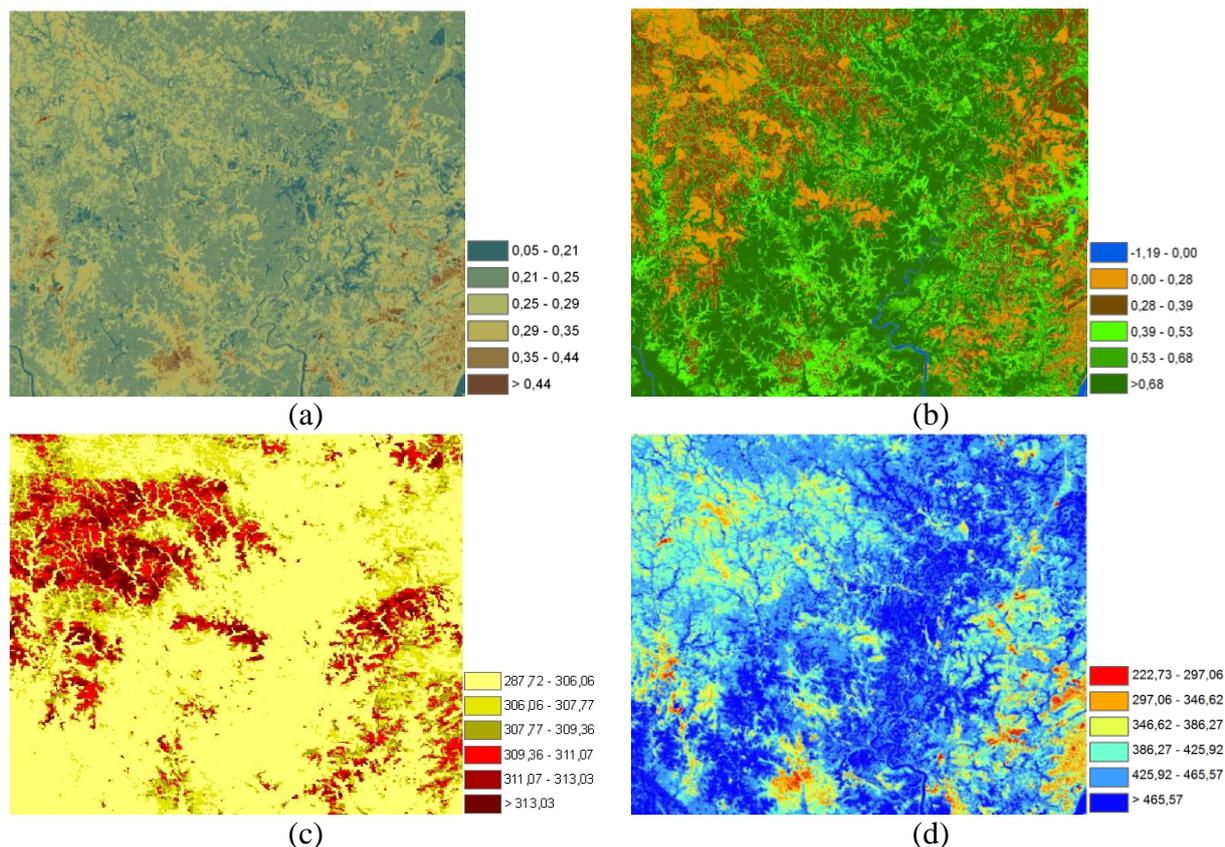


Figura 3. Variabilidade do (a) albedo da superfície, (b) IVDN, (c) temperatura da superfície e (d) saldo de radiação sobre a área estudada.

#### 4. Conclusões

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto permitiu avaliar variações espaciais no albedo e temperatura à superfície, IVDN e saldo de radiação no município de Macapá, especificamente sobre o cerrado, onde grande parte de sua extensão é utilizada antropicamente, seja pelo crescimento urbano, seja pela silvicultura de eucalipto.

O albedo correspondente ao bioma cerrado variou entre 30 e 45% e corrobora com outros estudos conduzidos nesta linha de estudo. As áreas de floresta de transição e corpos d'água apresentaram albedo com menor variação e valores estimados de saldo de radiação condizentes com as análises observadas, em que áreas onde o albedo e a temperatura da superfície foram baixos, apresentaram valores elevados de saldo de radiação.

A tendência de maiores valores de saldo de radiação sobre corpos d'água e floresta de transição e menores sobre solo exposto e zona urbana é explicada pelo efeito combinado do albedo e da temperatura da superfície, pois o primeiro termo influencia o balanço de ondas curtas e o segundo o balanço de ondas longas.

Assim, a utilização do sensoriamento remoto e do algoritmo SEBAL na estimativa do saldo de radiação mostrou-se satisfatória, uma vez que os resultados são coerentes e semelhantes a outros encontrados e reportados na literatura.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas, e ao Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos pela disponibilização das imagens e dos dados meteorológicos.

## Referências Bibliográficas

- Allen, R. G.; Trezza, R.; Tasumi, M. **Surface energy balance algorithms for land**. Advance training and users manual: Idaho Department of Water Resources, 2002. 98 p.
- Azevedo, P. V.; Leitão, M. M. V. B. R.; Sousa, I. F.; Maciel, G. F. Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 5, n. 1, p. 403-410, 1990.
- Bastiaanssen, 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, 1998a.
- Bastiaanssen, W. G. M.; Pelgrum, H.; Wang, J.; Moreno, Y. M. J.; Roerink, G. J.; Van Der Wal, T. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 213-229, 1998b.
- Blad, B. L.; Baker, D. G. Reflected radiation from a soybean crop. **Agronomy Journal**, v. 64, p. 277-280, 1972.
- Cohen, J. C. P.; Silva Dias, M. A. F.; Nobre, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. **Monthly Weather Review**, v. 123, n. 11, p. 3163-3174, 1995.
- Gomes, H. F., Silva, B. B. da, Cavalcanti, E. P., Rocha, H. R. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, v. 28, p. 153-164, 2009.
- Gusmão, A. C. V. L., Silva, B. B. da, Montenegro, S. M. G. L., Galvêncio, J. D. Determinação do saldo radiativo na Ilha do Bananal, TO, com imagens orbitais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1107-1114, 2012.
- Leitão, M. M. V. B. R. **Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada**. 1989. 111 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1989.
- Moreira, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2003. 307 p.
- Oke, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2 ed. Methuen, 1987. 289 p.
- Rao, V. B.; Hada, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with Southern oscillations. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, p. 81-91, 1990.
- Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.
- Silva, B. B. da. **Balanço de radiação com dados AVHRR/NOAA-14**. In: Ferreira, N. J. (Org.). Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e Tiros-N. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2004. cap. 7, p. 143-164.
- Silva, B. B. da; Lopes, G. M.; Azevedo, P. V. de. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.
- Vianello, R. L. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1991.