

## **Estimativa dos valores de saldo de radiação e fluxo de calor no solo em diferentes condições antrópicas na bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia**

Deise Nunes Furlan<sup>1</sup>, Maria Victoria Ramos Ballester<sup>1</sup>, Ricardo Guimarães Andrade<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP  
Av. Centenário, 303 CEP 13400-970 Piracicaba, SP  
deisefurlan@cena.usp.br  
vicky@cena.usp.br

<sup>2</sup> Embrapa Monitoramento por Satélite  
Av. Soldado Passarinho, 303 Fazenda Chapadão CEP 13070-115 Campinas, SP  
ricardo@cnpem.embrapa.br

**Abstract:** Use change and land cover has significant influence on energy flows. Thus, this study aimed to compare the net radiation and soil heat flux on two dates, 19/07/1984 and 25/06/2010 from a locality of river basin Ji-Paraná, Rondônia. To develop the study, an algorithm Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) allowing the estimation of energy flows according to the cover. The model was applied in the study area in a sequence of steps, where the outcome of interest was the net radiation at the surface and the flow of heat in the soil. The results show that on average the net radiation was greater in the scene where the predominant areas of forest, 19/07/1984, since the albedo of the vegetation is lower than in surface of bare ground or with less dense vegetation as observed in the scene 25/06/2010. The values of soil heat flux are larger at the scene of 25/06/2010 and occupy a larger surface due to human action. This shows that the replacement of forest for agriculture, grazing and urbanization are causing decrease the net radiation and increase the flow of heat in the soil, thereby increasing the emission of long wave radiation that affect the surface temperature, air temperature and the hydrological cycle.

**Palavra-Chave:** remote sensing, Sebal, energy flow, lan use, sensoriamento remoto, Sebal, fluxo energético, uso do solo.

## 1. Introdução

Desde a década de 70 quando tiveram início os projetos de expansão da fronteira agrícola e de colonização da região norte do Brasil, a floresta Amazônica tem passado por um acelerado processo de transformações, tendo como consequência altas taxas de desmatamento.

Essas mudanças que vem ocorrendo na cobertura vegetal, principalmente devido ao desmatamento em toda a região Amazônica tem sido tema nas discussões sobre mudanças climáticas. Nesses estudos o objetivo é quantificar os efeitos do desmatamento no microclima de uma região ou em todo o bioma amazônico e as consequências dessas mudanças para outras partes do Brasil, assim como a contribuição para a mudança do clima global.

Porém, como se sabe, não é tão simples quantificar as mudanças no clima da região amazônica onde não há series de dados meteorológicos suficientes para que se possam fazer estudos históricos da região indicando tendências nos padrões, principalmente, de temperatura e precipitação.

Nesse contexto, a utilização da modelagem através de sensoriamento remoto tem sido uma alternativa para estudos de monitoramento da cobertura vegetal e do clima regional, pois não exigem muitos dados meteorológicos e tem uma representação real da situação da cobertura vegetal.

A interação solo-vegetação-atmosfera tem sido avaliada pelos fluxos de troca de energia entre esses três segmentos do sistema através da aplicação de algoritmos. Essas metodologias com modelagem têm obtido resultados que auxiliam no manejo de áreas de florestas e no gerenciamento dos recursos hídricos. Entre os algoritmos com interesse na interação solo-vegetação-atmosfera, o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) está sendo bastante utilizado, pois depende de poucos dados de superfície (Bastiaanssen, et al, 1998).

O SEBAL possibilita calcular o balanço de energia de uma determinada área, onde a variável obtida, saldo de radiação, representa a energia disponível na superfície para os processos de aquecimento do ar, aquecimento do solo (fluxo de calor no solo) e a evapotranspiração (fluxo de calor latente ou o processo de fotossíntese).

O fluxo de calor no solo que é a fração de energia que é transferida por processos de condução ou difusão térmica para o solo, é importante para as atividades metabólicas das células das raízes, assim como para a germinação das sementes. A evapotranspiração também é dependente do saldo de radiação e no cálculo do balanço hídrico é uma importante variável para o manejo dos recursos hídricos.

Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo comparar as mudanças no saldo de radiação e no fluxo de calor do solo em uma localidade da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia em duas datas, 19/07/1984 e 25/06/2010, onde é possível observar significativa ação antrópica.

## 2. Material e Métodos

A área selecionada para o estudo está inserida na bacia do rio Ji-Paraná (Figura 1), na porção central do estado de Rondônia. A bacia do rio Ji-Paraná tem área aproximadamente de 75400 km<sup>2</sup> e atravessa o estado de Rondônia na porção leste. Essa bacia possui elevada ação antrópica pela presença de pastagens e culturas agrícolas e menor desmatamento ao norte. Essa característica de transição da bacia, que apresenta áreas com culturas agrícolas e pastagens, além de áreas de florestas permite a comparação dos ciclos energéticos sob diferentes usos do solo.

Nesse contexto, imagens dos dias 19/07/1984 e 25/06/2010 foram obtidas do catálogo de imagens (órbita/ponto: 231/067) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), contendo as sete bandas espectrais do sensor TM do satélite Landsat 5. Dessas imagens foi utilizado um recorte para o processamento da modelagem (Figura 2).

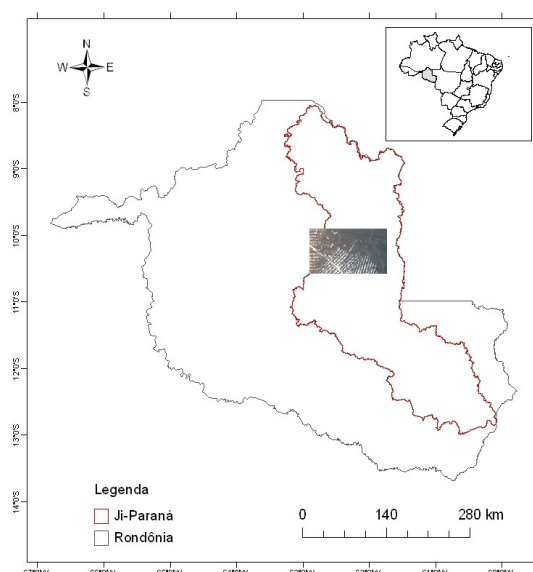


Figura 1: Localização da área de estudo.

Nas últimas décadas, a bacia do rio Ji-Paraná tem sido impactada com a retirada da cobertura vegetal natural, para o estabelecimento de novas áreas de pastagens e agricultura. Nesse sentido, foram selecionadas imagens em décadas distintas (intervalo de 26 anos, Figuras 2a e 2b) com a finalidade de se realizar uma comparação na mudança dos fluxos de calor no solo e o saldo de radiação em decorrência da mudança da cobertura do solo.

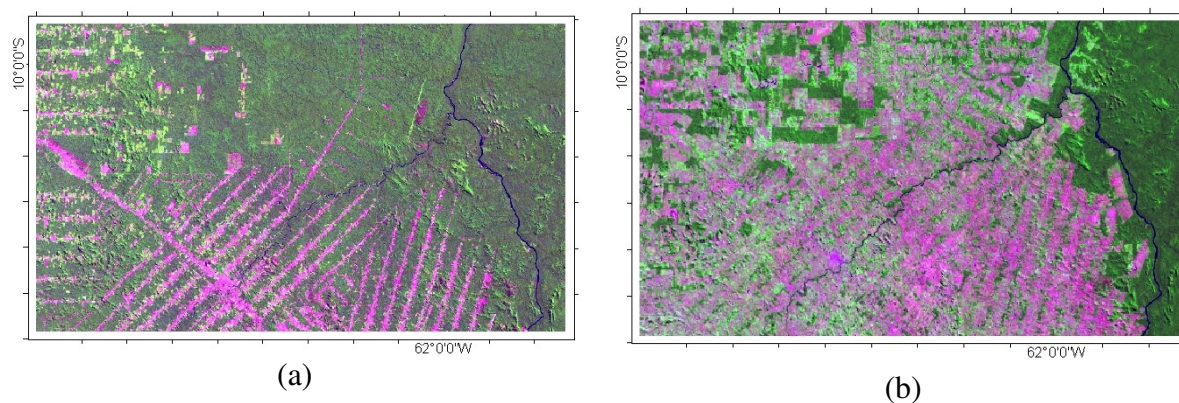


Figura 2: (a) e (b) Imagens do sensor TM do satélite Landsat 5 na composição de bandas 5,4,3 (RGB), nas datas de 19/07/1984 e 25/06/2010, respectivamente.

Para a estimativa dos valores de Saldo de Radiação e Fluxo de Calor no Solo foi utilizado o algoritmo *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) desenvolvido por Bastiaanssen (1998) e amplamente empregado por Silva et al (2005) e Silva e Bezerra (2006), cujas etapas estão mostradas na Figura 3.

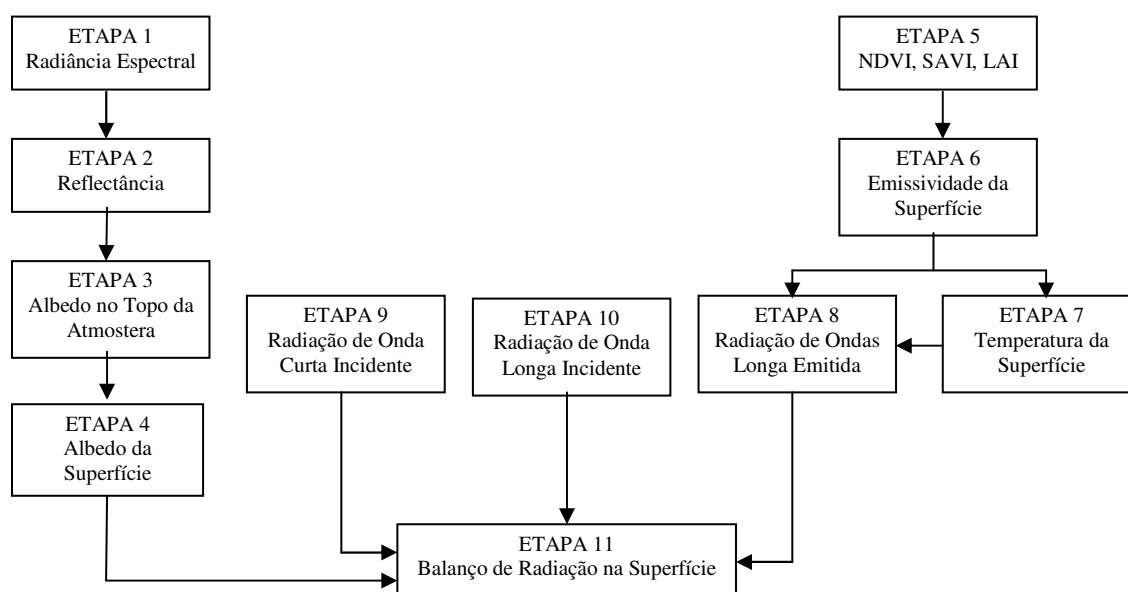


Figura 3: Fluxograma das etapas do processamento do balanço de radiação na superfície (Fonte: SILVA et al., 2005).

A calibração radiométrica constitui o cálculo da radiância espectral de cada banda, ou seja, o número digital de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática. A reflectância definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação refletida e o fluxo de radiação incidente, foi calculada para cada banda. O albedo planetário (albedo no topo da atmosfera ou albedo aparente) foi obtido pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas. Em seguida, considerou-se os efeitos atmosféricos nos valores de albedo e obteve o albedo de superfície ( $\alpha$ ). Nas etapas de determinação dos índices de vegetação, primeiro, determinou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) que é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo. Em seqüência estimou-se o Índice de Área Foliar (IAF) pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação.

Para o cálculo da temperatura da superfície ( $T_s$ ) foram utilizados a radiância espectral da banda termal ( $L_{\lambda,6}$ ) e a emissividade representando o comportamento da superfície para a emissão térmica no intervalo da banda 6 do Landsat (10,4-12,5  $\mu\text{m}$ ), expressa como  $\varepsilon_{nb}$ . A radiação de onda curta incidente ( $R_{s\downarrow}$ ) foi calculada utilizando a constante solar, o ângulo zenital ( $z$ ), o inverso da distância relativa terra-sol ( $d_r$ ) e a transmissividade atmosférica ( $\tau_{sw}$ ). Para o cálculo da radiação de onda longa emitida pela superfície ( $R_{L\uparrow}$ ) utilizou-se a emissividade atmosférica ( $\varepsilon_o$ ), a constante de Stefan-Boltzmann e a temperatura da superfície. Já para a estimativa da radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície ( $R_{L\downarrow}$ ) foi utilizada a emissividade atmosférica ( $\varepsilon_o$ ), a constante de Stefan-Boltzmann e a temperatura do ar. Finalmente, obteve-se o saldo de radiação à superfície  $R_n$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) utilizando-se a Equação 1 (Allen et al., 2002):

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (01)$$

O fluxo de calor no solo  $G$  ( $\text{Wm}^{-2}$ ) foi obtido segundo equação empírica desenvolvida por Bastiaanssen (2000), que representa os valores próximos ao meio-dia. Para efeito de correção dos valores do fluxo de calor no solo para corpos d’água ( $\text{NDVI} < 0$ ), considerou-se  $G = 0,3R_n$  (Silva e Bezerra, 2006).

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos através do modelo SEBAL permitiram comparar os efeitos da mudança da cobertura do solo em decorrência da ação antrópica nos últimos 26 anos na área de estudo, onde é possível verificar uma significativa substituição da floresta nativa por áreas de pastagem, agricultura e urbanização. Sendo assim, foi possível comparar as mudanças nos fluxos energéticos de acordo com a mudança na cobertura vegetal da área estudada.

As Figuras 4(a) e 4(b) mostram as estimativas do albedo da superfície nas datas de 19/07/1984 e 25/06/2010, respectivamente. Para a cena de 25/06/2010, o albedo oscilou de 0,02 a 0,21, enquanto na cena de 19/07/1984 foi um pouco menor, 0,02 a 0,18. Devido a significativa mudança na cobertura do solo apresentada na cena de 25/06/2010, os valores de albedo da superfície superiores a 0,14 ocuparam uma porção maior da área de estudo do que na cena de 19/07/1984, onde os valores predominantes estavam entre 0,08 e 0,13. Na cena de 19/07/1984, predominam-se as áreas de floresta apresentando extensas áreas com valores de albedo inferiores a 0,13. Resultado semelhante foi obtido por Silva et al (2010) estudando o saldo de radiação em uma região no estado do Acre.

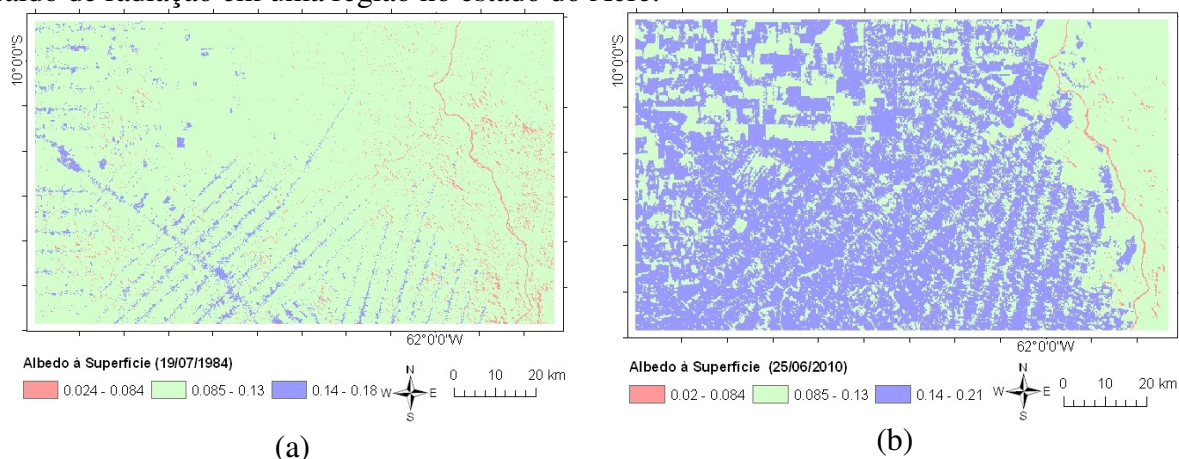


Figura 4: (a) e (b) Albedo à superfície - 19/07/1984 e 25/06/2010, respectivamente.

O índice de área foliar apresentado nas Figuras 5(a) e 5(b) para as cenas de 19/07/1984 e 25/06/2010, respectivamente, mostram um aumento das áreas onde os valores de IAF são inferiores a  $1.4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ . Na cena de 19/07/1984, os menores valores de IAF estavam ao longo do eixo da BR-364 e das estradas vicinais. Nessa data é possível observar claramente a configuração do desmatamento na área de estudo com um padrão espacial conhecido como “espinha de peixe”. No ano de 2010 já não é mais verificado essa ocupação organizada e os valores de IAF passam a diminuir significativamente em grande parte da área de estudo.

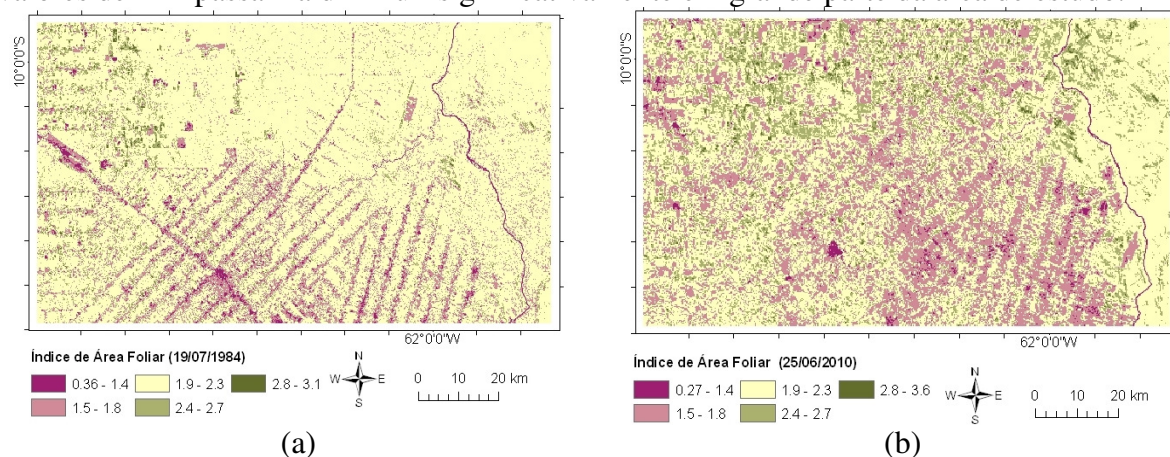


Figura 5: (a) e (b) Índice de área foliar - 19/07/1984 e 25/06/2010, respectivamente.

A amplitude da temperatura da superfície (Figura 6a e 6b) tem se mantido praticamente a mesma nas duas datas estudadas, entre 21 e 34 °C. A diferença está na área de abrangência

das temperaturas superiores a 28°C. Na maior parte da área (provavelmente florestas) apresentada na cena de 19/07/1984, a temperatura que prevalecia estava entre 21 e 27°C. Em contrapartida, na cena de 25/06/2010 as áreas com temperatura entre 28 e 30 °C cresceram significativamente. Além disso, nas áreas que foram antropizadas, a temperatura apresentou elevada em 1 °C, passando do intervalo de 21 – 27 °C na cena de 19/07/1984 para 22 – 27 °C na cena de 25/06/2010.

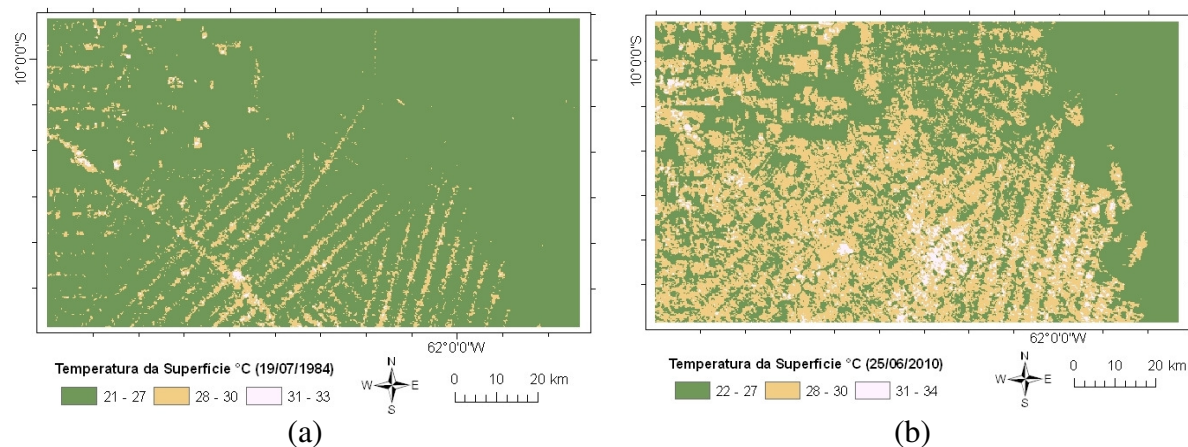


Figura 6: (a) e (b) Temperatura da superfície - 19/07/1984 e 25/06/2010, respectivamente.

As áreas com temperaturas superiores a 31 °C também foi maior na cena de 25/06/2010, onde a temperatura mais elevada registrada foi 34 °C, enquanto que em 1984 o pico de temperatura foi de 33 °C. Isso está associado com o maior aquecimento das superfícies antropizadas que se mostram com taxas mais elevadas de radiação de onda longa emitida (Figura 7a) influenciando o clima da região, haja vista que os constituintes atmosféricos principalmente as concentrações de vapor d'água retém grande quantidade de radiação de onda longa e re-emitem para a superfície resultando no chamado “efeito estufa”.

Na Figura 7a verifica-se que em alguns pontos a radiação de onda longa emitida pela superfície é superior a 470 W m<sup>-2</sup>, sendo que a maior concentração está em áreas urbanas, onde a absorção de radiação de onda curta é menor (albedo maior). De forma geral, ao comparar as cenas nas datas analisadas (Figuras 7a e 7b), nota-se que na cena do dia 25/06/2010 houve expansão das áreas com radiação de onda longa entre 440 e 460 W m<sup>-2</sup>.

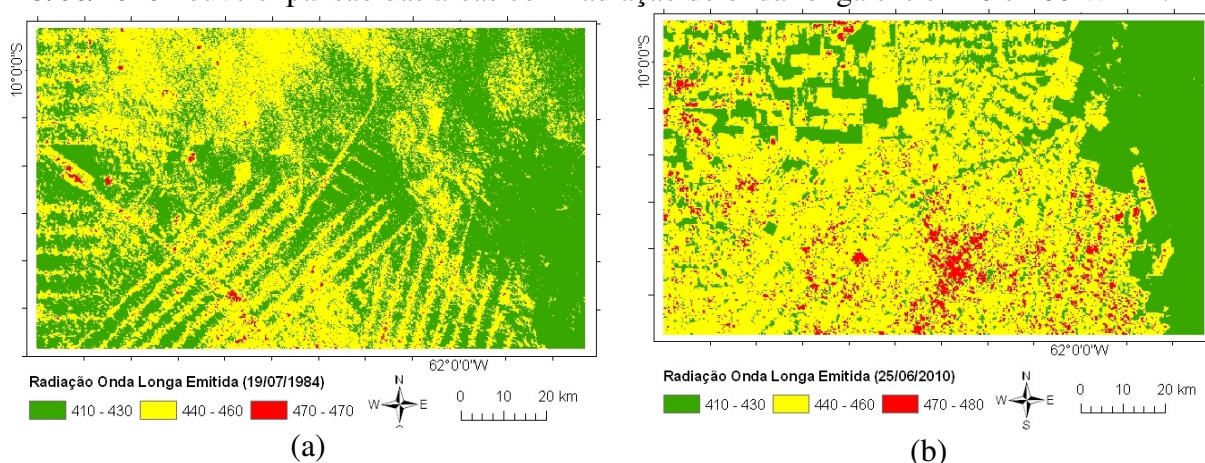


Figura 7: (a) e (b) Radiação onda longa emitida - 19/07/1984 e 25/06/2010, respectivamente.

Nas figuras 8a e 8b tem-se o saldo de radiação (Rn) para as cenas das datas 19/07/1984 e 25/06/2010, respectivamente. O Rn apresentado na cena do dia 19/07/1984 (Figura 8a) foi superior ao da cena de 25/06/2010, pois o albedo da vegetação é menor do que em áreas de solo exposto, ou seja, refletem menos energia no comprimento de onda curta e absorvem mais a energia proveniente do sol (onda curta), resultando numa menor perda de energia. As áreas onde o Rn foi menor são as áreas onde predominam os maiores valores da radiação de

onda longa emitida (Figura 7a e 7b), isto é, áreas de solo exposto e áreas onde a vegetação é menos densa. As áreas de superfície d'água representada por rios também apresentam os menores valores de saldo de radiação, como pode ser observado na área de estudo o rio Ji-Paraná no sentido Sul-Norte (Andrade et al, 2007). Os valores predominantes de Rn nas cenas de 25/06/2010 e 19/07/1984 estão entre 680 a 700  $W m^{-2}$  e 760 a 780  $W m^{-2}$ , respectivamente.

Estudando a mesma área em quatro datas, 13/07/2005, 13/05/2006, 30/06/2006 e 16/07/2006, Liberato (2010) verificou que o saldo de radiação em área de floresta estava entre 507,56  $W m^{-2}$  e 646,04  $W m^{-2}$ , e 386 a 507  $W m^{-2}$  em área de pastagem, o que confirma que as áreas de floresta têm maior Rn do que áreas de pastagem. Esses resultados estão de acordo com o presente estudo que mostra o aumento das áreas onde o Rn é menor após 26 anos de uso e ocupação do solo, seja com pastagem ou agricultura.

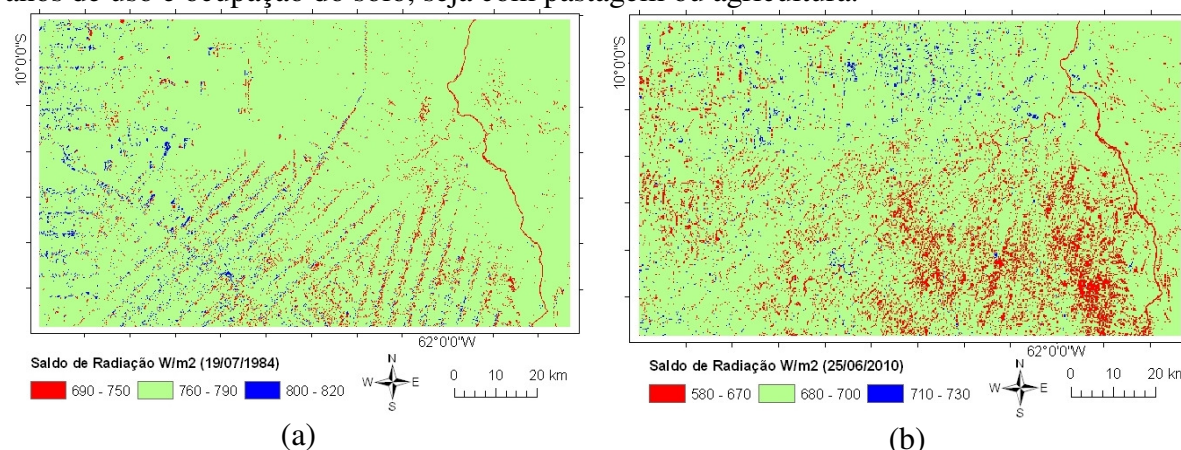


Figura 8: (a) e (b) Saldo de Radiação - 19/07/1984 e 25/06/2010, respectivamente.

O fluxo de calor no solo ( $G$ ) predominante na cena do dia 19/07/1984 estava entre 57 e 72  $W m^{-2}$  (Figura 9a), ao passo que na cena do dia 25/06/2010 há uma predominância de valores superiores a 73  $W m^{-2}$  (Figura 9b). As áreas com os maiores valores de  $G$ , entre 110 e 120  $W m^{-2}$  também teve maior abrangência na cena de 25/06/2010, em decorrência da expansão das áreas com maior ação antrópica.

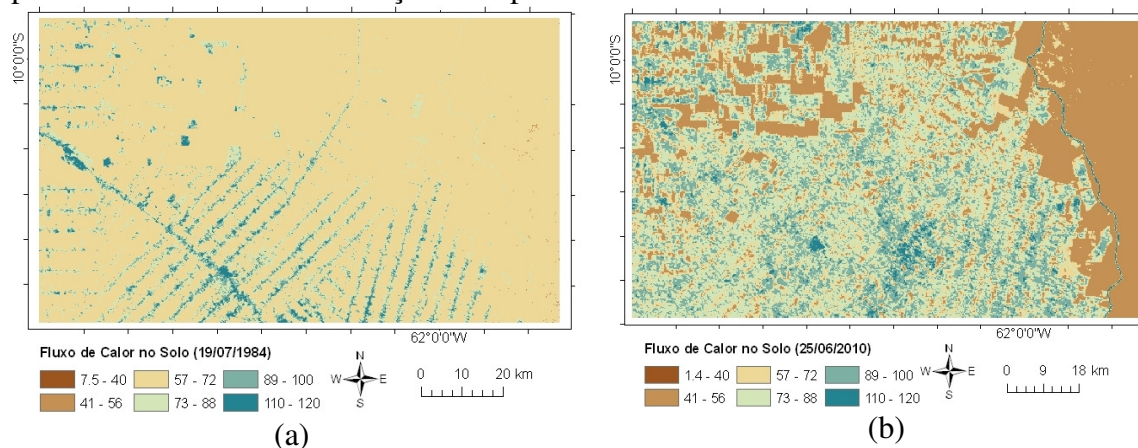


Figura 9: (a) e (b) Fluxo de calor no solo - 19/07/1984 e 25/06/2010, respectivamente.

#### 4. Conclusões

Comparando as cenas da data de 19/07/1984 e 25/06/2010 verificou-se uma diminuição do saldo de radiação com o aumento das áreas desmatadas, ou seja, mais energia está sendo emitida para a atmosfera na forma de onda longa, favorecendo o aquecimento do ar. Na condição apresenta na cena de 19/07/1984, grande parte da energia na forma de onda curta era utilizada para os processos de evapotranspiração da floresta e devolvida para a atmosfera

na forma de calor latente, enquanto que em 2010, com o aumento das áreas ocupadas por pastagem, agricultura e urbanização, essa energia está sendo devolvida para a atmosfera na forma de calor sensível.

Quanto ao fluxo de calor no solo também é observado um significativo aumento em decorrência da ação antrópica e o aumento de áreas de solo exposto.

### **Agradecimentos**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo 2010/02228-0) pela bolsa concedida para a realização do projeto do qual este trabalho faz parte.

### **Referências Bibliográficas**

Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R. **Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). Advanced training and Users Manual.** Idaho implementation, version 1.0, 2002. 98p.

Andrade, R.G.; Sedyama, G.C.; Delgado, R.C.; Lima, E. de P.; Menezes, S.J.M. da C. Saldo de radiação e fluxo de calor no solo na região do município de Juiz de Fora, MG. In: I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, 2007, Taubaté (SP) **Anais...** IPABHi, 2007. Artigos, p. 371-373. Disponível em: <<http://www.agro.unitau.br/serhidro/doc/pdfs/371-373.pdf>>. Acesso em 20 de set. 2010.

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.

Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M., The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): Part 1 formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212/213, p. 198-212, 1998.

Liberato, A. M. Saldo de radiação usando imagens Landsat 5 -TM na Amazônia. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém (PA). **Anais...** Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010. CD-ROM, on-line. Disponível em: <[http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/24\\_36883.pdf](http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/24_36883.pdf)>. Acesso em 01 de out. 2010.

Silva, A. P. N.; Villar, A.C.; Gusmão, L.; Gomes, N. de V.; Silva, B.B.S; Moura, G.B. de A. Características do saldo de radiação na Amazônia Ocidental. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém (PA). **Anais...** Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010. CD-ROM, on-line. Disponível em: <[http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/293\\_62018.pdf](http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/293_62018.pdf)>. Acesso em 01 de out. 2010.

Silva, B.B. da; 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.

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.