

Estimativa do balanço de energia na RMRJ utilizando dados de sensoriamento remoto.

Vitor Fonseca Vieira Vasconcelos de Miranda ¹

Leonardo de Faria Peres ¹

Andrews José de Lucena ²

José Ricardo de Almeida França ¹

Otto Corrêa Rotunno Filho ³

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/CCMN/IGEO

CEP – 21941-916 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil

vitormiranda91@yahoo.com.br

{leonardo.peres, jricardo}@igeo.ufrj.br

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ/IA

CEP - 23890-000 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil

lucenageo@yahoo.com.br

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/COPPE

Caixa Postal – 21941-914 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil

otto@coc.ufrj.br

Abstract. The knowledge of energy balance is fundamental for understanding the urban heat island phenomenon (UHI). In this context, the present work has investigated the seasonal, temporal and spatial variability of the heat fluxes at the Metropolitan Area of Rio de Janeiro (MARJ), based on remote sensing data, namely LANDSAT images. Heat fluxes were obtained with the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) that uses as input remote sensing and meteorological information. The heat fluxes analysis was performed based on images in the decades of 80, 90 and 2000. SEBAL was implemented together with a statistic method based on percentiles for choosing the hot and cold pixels. SEBAL has produced consistent results showing lower latent heat flux values on the urban region and higher values on the vegetated areas for both summer and winter seasons. On the other hand, sensible and soil heat fluxes were always higher on urban areas as expected. Respecting to winter and summer seasons, all fluxes were higher in summer images and the differences between urban and vegetation fluxes are more marked in the summer. Temporally, it is possible to observe an evolution of both sensible, latent and soil heat over the three decades, advancing to the metropolitan north, east and west.

Key Words: Energy Balance, SEBAL, MARJ, LANDSAT.

1.Introdução

A formação de ilha de calor urbano (ICU) é uma das formas mais conhecidas de modificação antropogênica do clima. A ICU é um atributo da transformação da superfície urbana que é de especial interesse em diferentes áreas, pois reflete um grande conjunto de mudanças importantes na superfície que tem impacto na saúde humana, em ecossistemas e possivelmente no tempo e clima local. O fenômeno ICU resulta da substituição de áreas vegetadas e solos evaporativos por materiais de construção e pavimentos impermeáveis, ocasionando a redução do fluxo de calor latente e o respectivo aumento do fluxo de calor sensível. Isto cria uma diferença de temperatura entre áreas urbanas e não urbanas. O conhecimento do balanço de energia nos fornece informação sobre a distribuição de umidade e calor no solo e na atmosfera e portanto é fundamental para o entendimento do fenômeno ICU e o comportamento térmico urbano. Adicionalmente, as trocas de fluxos de calor e umidade afetam o desenvolvimento da biosfera e as condições de vida sobre a Terra (Bastiaanssen et al., 1998, 2000).

Neste contexto, o presente trabalho propõe investigar a variabilidade sazonal e espacial dos fluxos de calor à superfície da RMRJ com base em dados de sensoriamento remoto, nomeadamente imagens LANDSAT. Os diferentes fluxos de calor foram obtidos com base no

algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) que utiliza como dados de entrada informações de sensoriamento remoto e meteorológicas de superfície.

2. Metodologia de trabalho

O trabalho proposto visou o cálculo e a análise dos fluxos de calor na RMRJ, através de dados de sensoriamento remoto. Desta forma, imagens referentes ao sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do satélite LANDSAT5 foram obtidas através da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Sendo assim, foram adquiridas imagens desde 1984 até 2010 da órbita 217 e ponto 76 cobrindo a RMRJ. Posteriormente, os dados foram divididos em três décadas, 80, 90 e 2000, e ainda realizou-se uma subdivisão sazonal entre verão e inverno. Para cada década e estação calculou-se a média dos fluxos, permitindo a comparação e o acompanhamento da evolução temporal dos fluxos de calor ao longo das décadas e da sua variação sazonal.

Além das imagens LANDSAT5, também foi necessário coletar dados meteorológicos de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento nos respectivos dias analisados. Os dados meteorológicos foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para 14 estações meteorológicas distribuídas sobre a RMRJ. Os dados acima foram introduzidos no SEBAL, o qual foi implementado em linguagem MATLAB (Bastiaanssen, 1998, 2000; Huete, 2002). Na escolha dos pixels quentes e frios do SEBAL, foi utilizado o método proposto por Prasad (2012), enquanto que o cálculo da temperatura da superfície continental (TSC) foi feito com base nos trabalhos de Iqbal (1983), Qin et al. (2001) e Souza e Silva (2005). Com base nos trabalhos de França e Cracknell (1995) e Chen (2002) foram adotadas três técnicas de mascaramento de nuvens no presente estudo: 1) técnica com base em limiar do valor da reflectância na banda no vermelho; 2) técnica Gross Threshold e 3) técnica da razão Q .

O SEBAL, tem como principal função o cálculo do fluxo de calor latente (wm^{-2}), λET , através da equação de balanço de energia

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

onde R_n é a radiação líquida, G é o fluxo de calor que vai para o solo, H é o fluxo de calor sensível. R_n é computada da seguinte forma

$$R_n = (1 - \alpha)ROC \downarrow + ROL \downarrow - ROL \uparrow - (1 - \varepsilon_0)ROL \downarrow \quad (2)$$

onde α é o albedo da superfície, $ROC \downarrow$ é a radiação de onda curta que chega à superfície, $ROL \downarrow$ a radiação de onda longa que chega à superfície, enquanto que $ROL \uparrow$ é a radiação de onda longa que deixa a superfície. Na equação (2) o albedo da superfície (α), é calculado utilizando a reflectância espectral (ρ_λ) das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do LANDSAT5 através de uma média ponderada. A $ROC \downarrow$ é obtida com base na constante solar (G_{sc}), no cosseno do ângulo zênite solar ($COS\theta$), na distância terra-sol (d_r) e na transmissividade atmosférica (τ_{sw}). A $ROL \downarrow$ é computada usando a equação de Stefan-Boltzmann para a temperatura do ar (T_0). Neste caso, a emissividade atmosférica ($\varepsilon_a = 0,85[-\ln(\tau_{sw})]$) é obtida com base na transmitância atmosférica ($\tau_{sw} = 0,75 + 2 \times 10^{-5}z$, sendo z a altura). A $ROL \uparrow$ também é computada pela equação de Stefan-Boltzman, só que utilizando a emissividade da superfície (ε_0) e a temperatura de superfície (T_s). A emissividade da superfície (ε_0) é obtida com base no índice de área foliar (LAI), o qual é função do índice de vegetação SAVI.

O fluxo de calor para o solo, G , é empiricamente calculado com base no NDVI (normalized difference vegetation index - índice de vegetação por diferença normalizada), na temperatura de superfície (T_s), no albedo da superfície (α) e na radiação líquida (R_n).

$$G = [(T_s - 273,16) \cdot (0,0038 + 0,0074 \cdot \alpha) \cdot (1 - 0,978(NDVI^4))] \cdot R_n \quad (3)$$

Para o cálculo de H , utiliza-se a densidade do ar (ρ), o calor específico do ar a pressão constante (C_p), a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (r_{ah}) e a diferença entre a temperatura de superfície e a temperatura da atmosfera numa dada altura (dT).

$$H = \frac{\rho \cdot c_p \cdot dT}{r_{ah}} \quad (4)$$

É importante notar que o conhecimento de dT é normalmente difícil de se obter. Desta forma, o SEBAL assume a hipótese de que a diferença dT pode ser aproximada por uma função linear de T_s , i.e., $dT = aT_s + b$. Para a obtenção dos coeficientes a e b é necessário a escolha de dois pixels da imagem, chamados de pixel frio e quente. O pixel frio corresponde a uma condição úmida em que a superfície possui um fluxo de calor latente máximo e sensível nulo, tendo assim o seu dT nulo também conforme Eq. (4). O pixel quente é aquele associado a uma condição seca aonde o fluxo de calor latente será nulo e o sensível máximo. As hipóteses assumidas acima resultam num sistema com duas equações e duas incógnitas, sendo possível o cálculo dos coeficientes. Com base nesses princípios, o pixel frio foi escolhido como aquele com baixa temperatura e alto valor de NDVI e o quente como aquele com alta temperatura e baixo valor NDVI. Com base no trabalho de Prasad (2012) foi feito um cálculo estatístico, baseado em percentis, para separar os pixels candidatos da imagem, para depois serem aplicadas as condições apresentadas acima. Para o pixel frio foi considerado o percentil 1 e o para o quente o 99.

3.Resultados

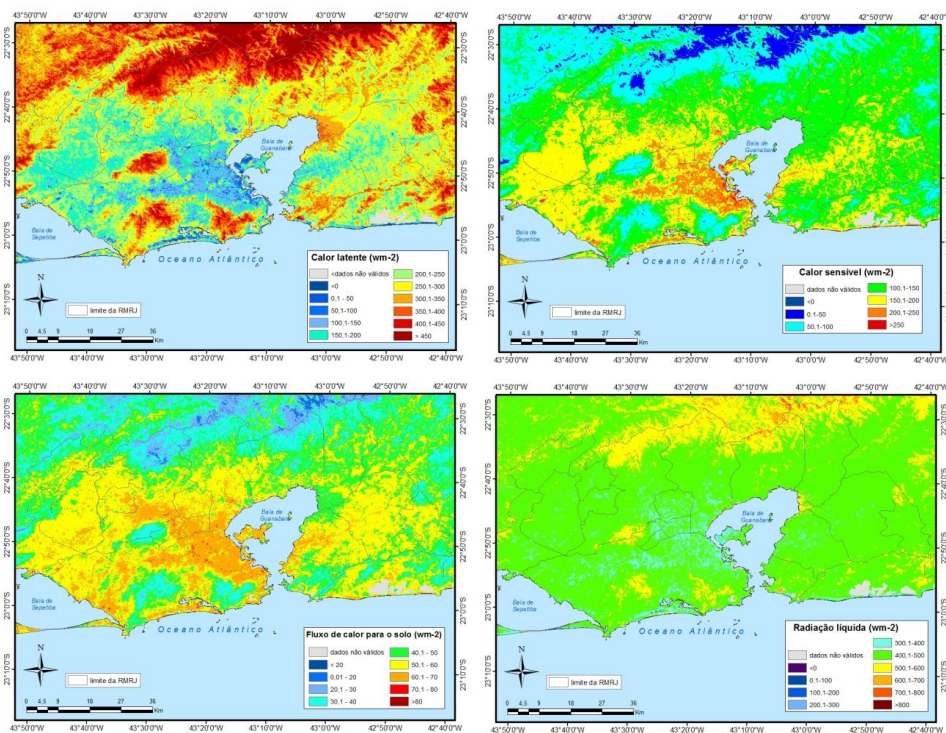


Figura 1. Média para a década de 80 do fluxo de calor latente (canto superior esquerdo), fluxo de calor sensível (canto superior direito), fluxo de calor para o solo (canto inferior esquerdo) e radiação líquida (canto inferior direito).

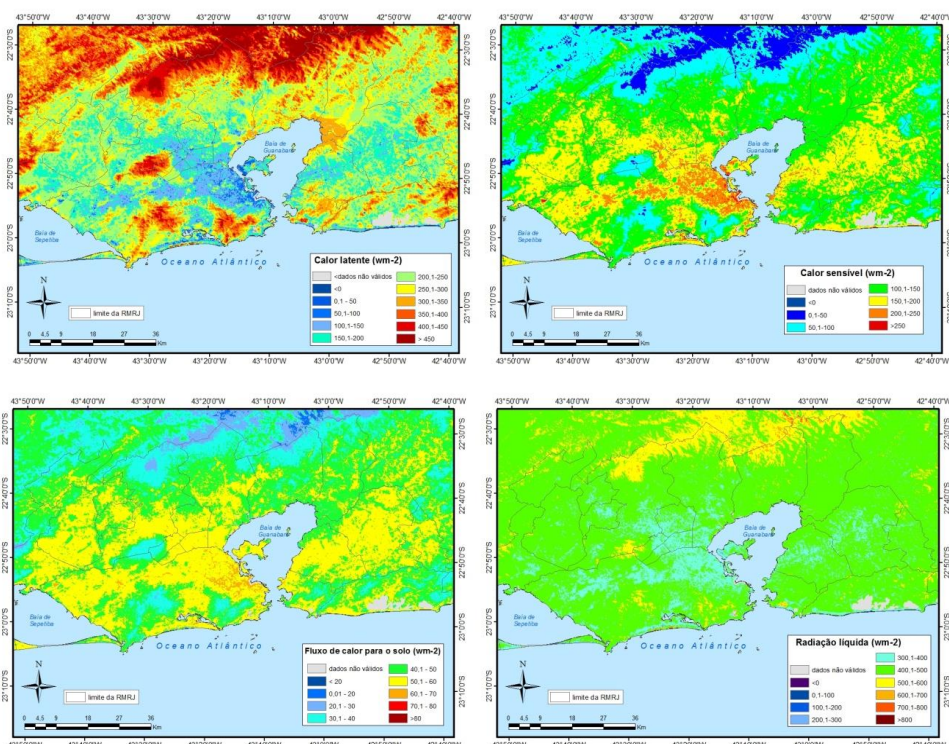


Figura 2. Como na Figura 1, mas para a década de 90.

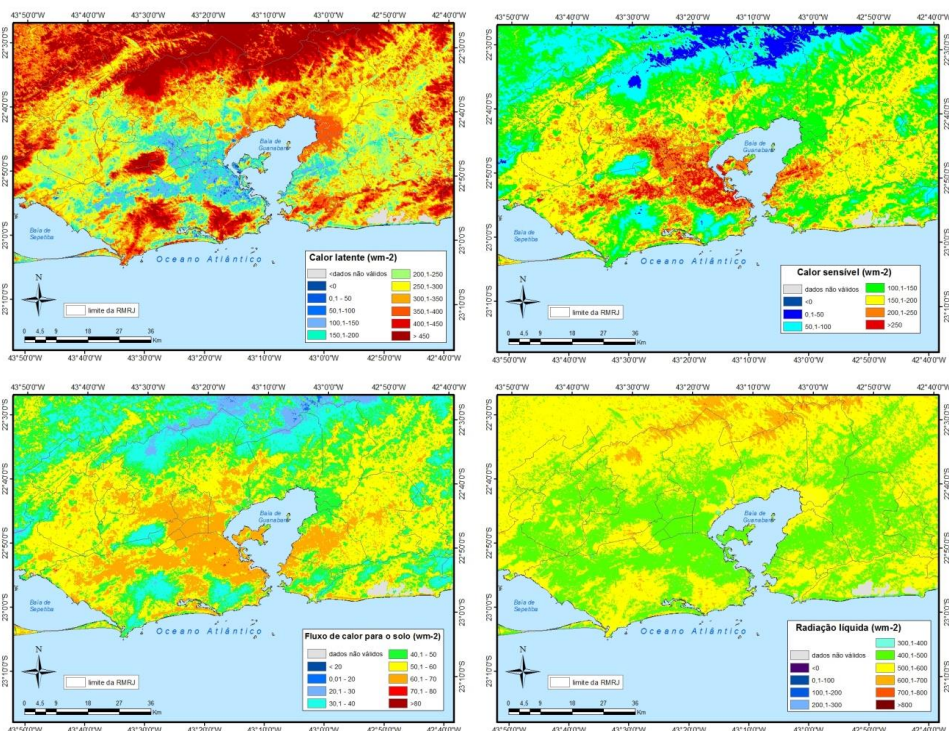


Figura 3. Como na Figura 1, mas para a década de 00.

As médias para as décadas de 80, 90 e 00 (Figuras 1, 2 e 3) mostram que o fluxo de calor latente na área urbana (vegetação) varia de valores negativos até 150 w/m^2 (de 250 até por volta de 450), que o sensível varia na área urbana (vegetação) de 150 até valores acima de 250 w/m^2

(de 0 até por volta de 100), que o fluxo de calor para o solo na área urbana (vegetação) varia de 50 até 80 w/m^2 (20 até 40) e por fim, que a radiação líquida na área urbana (vegetação), mostra pouca variação, indo de 300 até 500 w/m^2 (500 até 700).

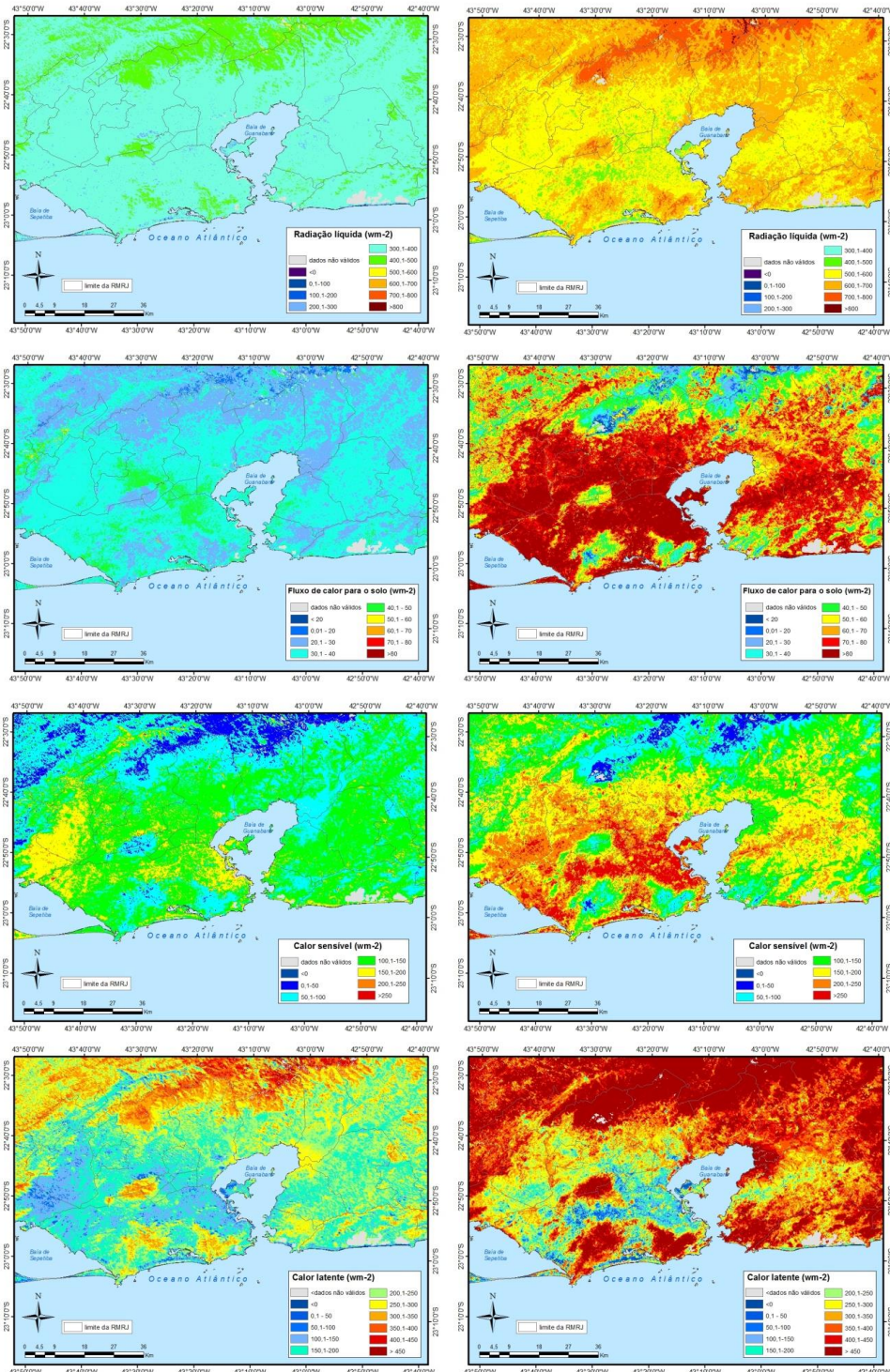


Figura 4. Média para a década de 80 da radiação líquida (primeira linha), fluxo de calor para o solo (segunda linha), fluxo de calor sensível (terceira linha) e fluxo de calor latente (quarta linha) para inverno (primeira coluna) e verão (segunda coluna).

Como esperado, o fluxo de calor sensível (latente) foi maior (menor) em áreas urbanas e menor (maior) em áreas com vegetação. De fato, grande parte da radiação líquida disponível é utilizada na forma de calor para o solo e sensível em áreas urbanas. Nas áreas vegetadas, por outro lado, a radiação líquida disponível é utilizada na mudança de fase resultando em altos valores de fluxo de calor latente, principalmente no verão devido à grande disponibilidade de água associada à estação chuvosa na RMRJ.

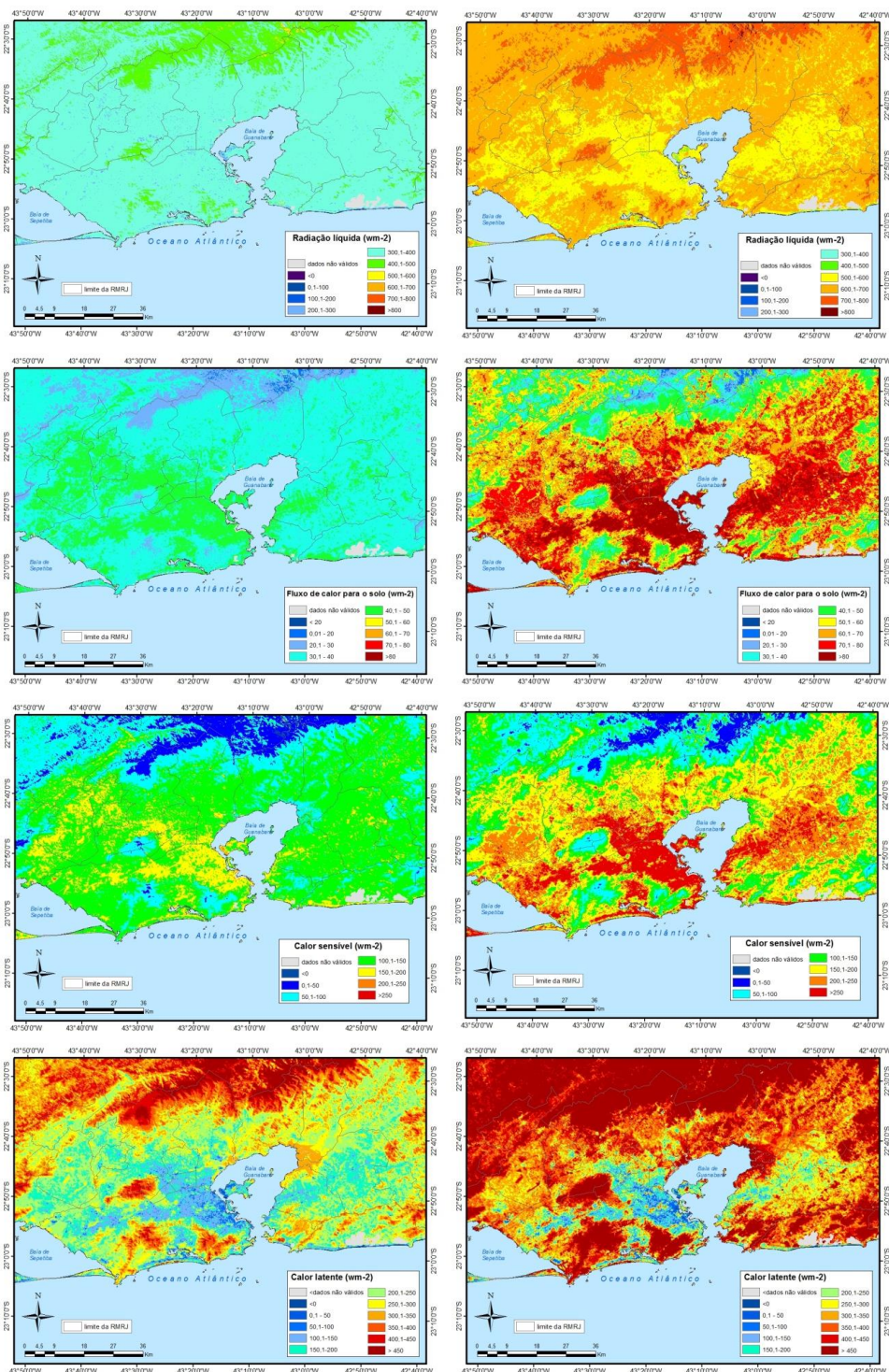


Figura 5. Como na Figura 4, mas para a década de 90.

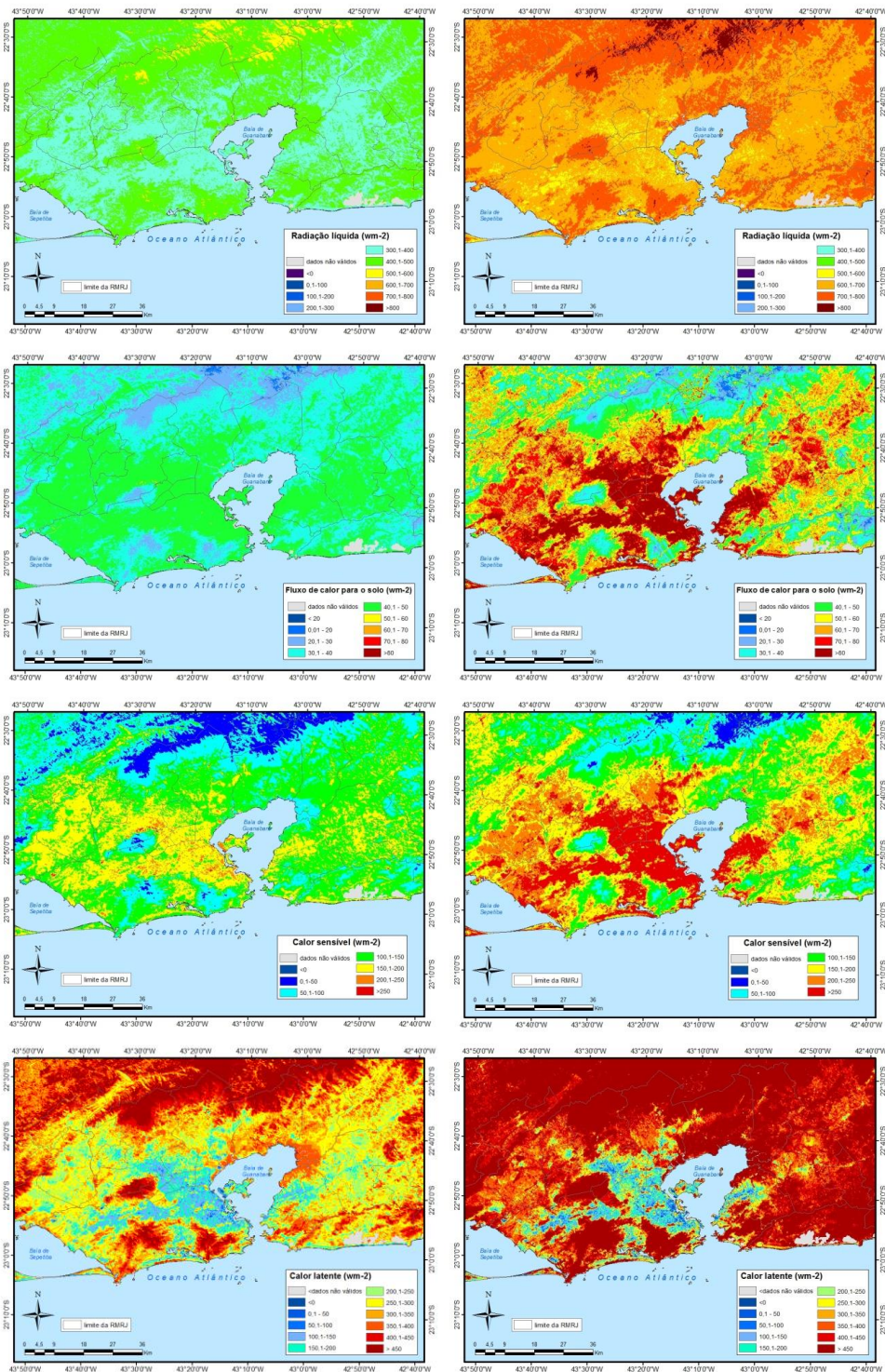


Figura 6. Como na Figura 4, mas para a década de 00.

Sazonalmente, as Figuras 4, 5 e 6 mostram que de forma geral, os fluxos são maiores no verão. Independente da estação, a radiação líquida sempre apresentou valores maiores em áreas vegetadas do que em áreas urbanas enquanto que o fluxo de calor para o solo apresentou comportamento inverso. Os valores de fluxo de calor latente são bem menores em áreas urbanas visto que esta região é composta em grande parte por superfícies impermeáveis. Adicionalmente, as diferenças entre urbano e vegetação são mais intensas no verão. Na comparação entre décadas, observa-se que a RMRJ na década de 00 apresenta uma expansão

de áreas com valores de fluxo de calor sensível e calor para o solo maiores do que nas décadas anteriores, tanto no inverno como no verão, justificando a maior presença do cenário urbano e possíveis núcleos ou ilhas de calor.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

No presente trabalho investigou-se a variabilidade sazonal, espacial e temporal dos fluxos de calor à superfície na RMRJ com base em dados do sensor TM a bordo do LANDSAT-5. Em termos qualitativos, o presente trabalho demonstrou que o SEBAL apresentou resultados consistentes para a RMRJ quando é feita a comparação com base nas estações inverno e verão e nas superfícies vegetação e urbano.

Futuramente, espera-se utilizar imagens de outros sensores com uma melhor resolução temporal, como o MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua. Adicionalmente, será interessante realizar uma comparação entre os algoritmos SEBAL e TwoSource Energy Balance (TSEB) e também uma intercomparação de resultados, utilizando produtos de sensoriamento remoto já existentes e validados e também saídas de modelos numéricos de previsão de tempo. Por último, os dados aqui calculados, precisam ser validados com medidas in situ.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq/PIBIC pela bolsa de iniciação científica concedida ao autor Vitor F. V. V. Miranda e a FAPERJ pelo amparo ao desenvolvimento do presente estudo (E26/110.822/2013).

5. Referências Bibliográficas

- Bastiaanssen, W.G.M. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology* 229: 87–100.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A. & Holtslag, A.A.M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land -SEBAL: 1. Formulation. *Journal of Hydrology* 212–213: 198–212.
- Chander, G., Markhan, B., L., Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, (113), pp. 893–903.
- Chen, P. Y., Srinivasan, R., Fedosejevs, G., e Narasimhan, B. (2002). An automated cloud detection method for daily NOAA-14 AVHRR data for Texas, USA. *International Journal of Remote Sensing*, v.23, p.2939–2950.
- França, G.B., Cracknell, A.P. (1995). A simple cloud masking approach using NOAA AVHRR daytime data for tropical areas. *International Journal of Remote Sensing*, v.16, p.1697–1705.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices *Remote Sensing of Environment*. (83), pp. 195–213.; Iqbal, M. (1983). An introduction to solar radiation. Library of Congress Cataloging in Publication data, Academic Press Canadian.
- Qin, Z., Karnieli, A., Berliner, P. (2001). A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 22(18): 3719–3746.
- Prasad, Vara, P.V. (2012). Statistical and spectral approaches to automate hot and cold pixel selection for surface energy balance based evapotranspiration mapping. Ogallala Aquifer Program.
- Souza, J.D., Silva, B.B. (2005). Correção atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM: Landsat 5. *Revista Brasileira de Geofísica*. 23 (4): 349–358.