

Caracterização do balanço de energia na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) através de dados de Imagens LANDSAT.

Vitor Fonseca Vieira Vasconcelos de Miranda¹
Leonardo de Faria Peres¹
Andrews José de Lucena²
José Ricardo de Almeida França¹

¹Universidade 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

²Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro–UFRRJ/IA
CEP - 23890-000 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
lucenageo@yahoo.com.br

Abstract. The knowledge of energy balance is fundamental for understanding advances of urban areas. The objective of this work is to estimate and analyze surface energy balance components at the Metropolitan Area of Rio de Janeiro (MARJ) through remote sensing data, namely TM, ETM+, OLI and TIRS sensors on-board Landsat-5, 7 and 8 satellites, respectively. 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 were performed based on images in the decades of 80, 90, 2000 and 2010. The meteorological data were obtained from the Brazilian National Institute of Meteorology (INMET) which contains weather stations distributed over MARJ. Among with the output data from SEBAL, a Land cover map was produced using the software Ecognition 8.9 to characterize the fluxes in three different surfaces: Urban, Soil, Vegetation and Water. SEBAL has produced consistent results showing lower latent heat flux values on the urban class and higher values on the vegetation class for all the decades. On the other hand, sensible and soil heat fluxes were always higher on urban areas as expected. Temporally, it is possible to observe in the land cover an evolution of urban areas over the four decades, advancing to the metropolitan north, east and west areas.

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

1. Introdução

O século 21 é o primeiro “século urbano” segundo O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), onde mais da metade da população mundial (54%) vive atualmente em áreas urbanas. Projeções realizadas pela ONU, em 2014, sugerem que 2/3 da população mundial viverão em áreas urbanas em 2050. A ONU também prevê que o número de megacidades (área metropolitana com população maior que 10 milhões de habitantes) aumentará de 28 em 2011 para 41 em 2030.

A Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) faz parte deste grupo de megacidades, assim sendo importante estudar o ambiente urbano colaborando para o planejamento do desenvolvimento desta área. Atualmente a RMRJ está passando por uma complexa transformação territorial, construções tais como: o Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro (COMPERJ); o Porto de Itaguaí; o Arco Metropolitano; as construções dos Jogos Pan-Americanos em 2007; a Copa do Mundo da FIFA em 2014; os Jogos Olímpicos de 2016; entre outros.

Essa expansão urbana e da população resultam em modificações no meio ambiente, incluindo mudanças no clima local e regional. A expansão das cidades apresenta implicações no conforto térmico e saúde humana; poluição do ar (e.g., formação de ozônio); planejamento energético (e.g., uso de energia elétrica para refrigeração); tempo (e.g., tempestades).

Essas alterações ocorrem devido ao fato de materiais de construção possuírem diferentes capacidades e condutividades térmicas, geometria de prédios e seus arranjos podem aprisionar radiação e poluentes e as estruturas de engenharia podem remover água da superfície e modificar redes naturais de drenagem e a topografia natural. O efeito desses é uma mudança profunda nas características radiativas, térmicas, aerodinâmicas e de umidade das superfícies pré-existent, resultando em alterações no balanço natural de energia, massa e momento (Bastiaanssen et al., 1998).

Neste contexto, o presente trabalho propõe investigar e caracterizar a variabilidade temporal 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. Além deste também foi implementado um mapa de uso e cobertura do solo

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 aos sensores TM, ETM+, OLI e TIRS a bordo dos satélites LANDSAT5, 7 & 8 foram obtidas através do United States Geological Survey (USGS). Sendo assim, foram adquiridas imagens desde 1984 até 2014 da órbita 217 e ponto 76 cobrindo a RMRJ. Posteriormente, os dados foram divididos em quatro décadas, 80, 90, 00 e 10. 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.

Além das imagens LANDSAT, 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 (Bastiaanssen, 1998), o qual foi implementado em linguagem MATLAB. 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 Souza e Silva (2005). Com base nos trabalhos de França e Cracknell (1995) e Chen (2002) foram adotadas técnicas de mascaramento de nuvens no presente estudo.

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 ($\epsilon_a = 0,85[-\ln(\tau_{sw})]$) 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).

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

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).

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

Além do cálculo dos dados matriciais dos fluxos, foram feitos quatro mapas de uso e cobertura do solo (Landcover), através de uma classificação supervisionada feita no software Ecognition 8.9, baseada em imagens de satélite (Landsat) referentes as décadas de 80, 90, 00 e 10. Utilizou-se uma segmentação de 50 fragmentos e foram escolhidas 4 classes: Urbano, Vegetação, Solo e Água (Sendo que para a classe água, não foram calculados os fluxos).

3.Resultados

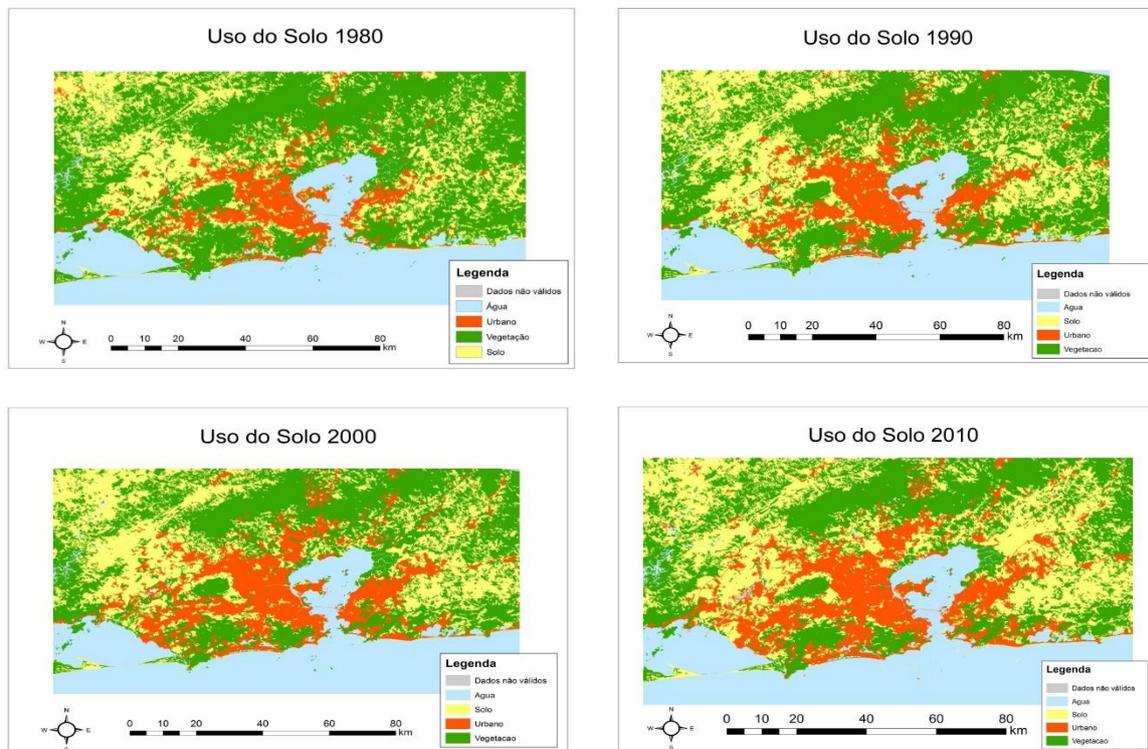


Figura 1. Mapa de uso e cobertura do solo para a década de 80 (canto superior esquerdo), década de 90 (canto superior direito), década de 00 (canto inferior esquerdo) década de 10(canto inferior direito).

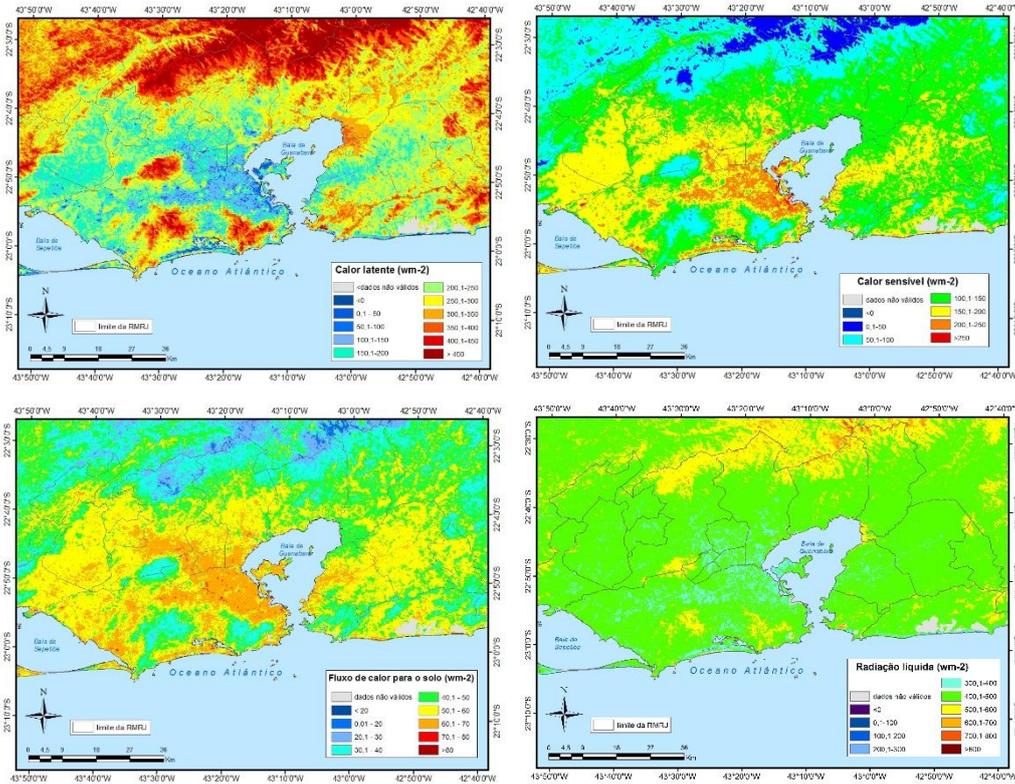


Figura 2. Média para a década de 80 do fluxo de calor latente (canto superior esquerdo), fluxo de calor sensível (canto superior direito), fluxo de calor para o solo (canto inferior esquerdo) e radiação líquida (canto inferior direito).

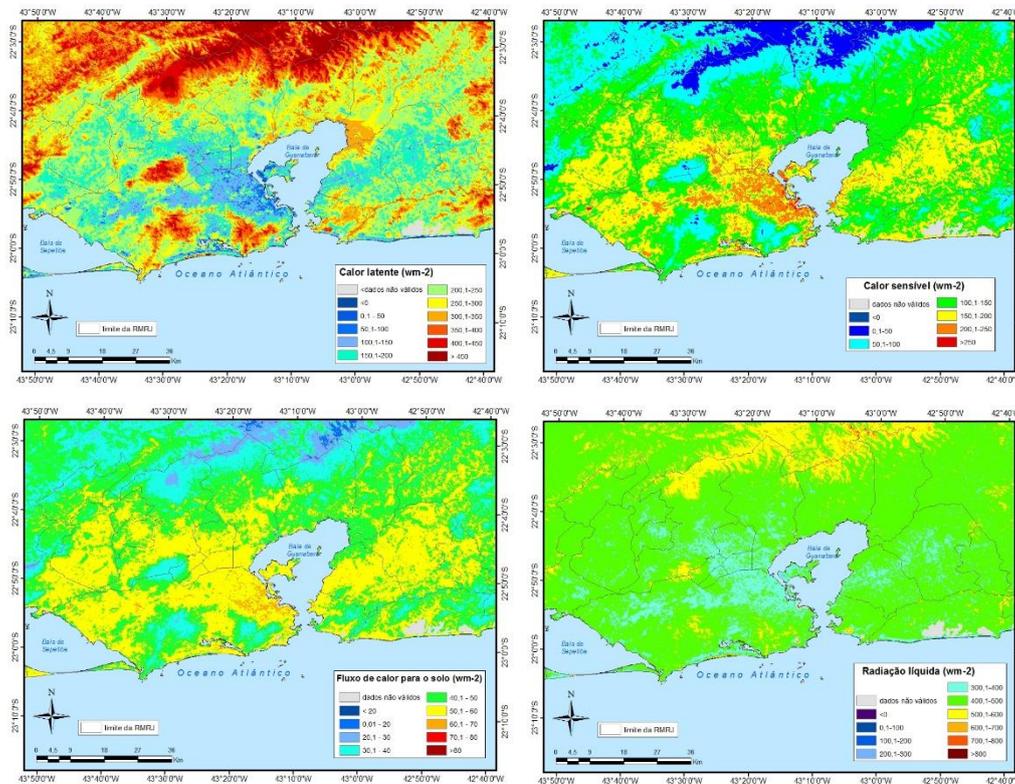


Figura 3. Igual a Figura 2, porém para a década de 90.

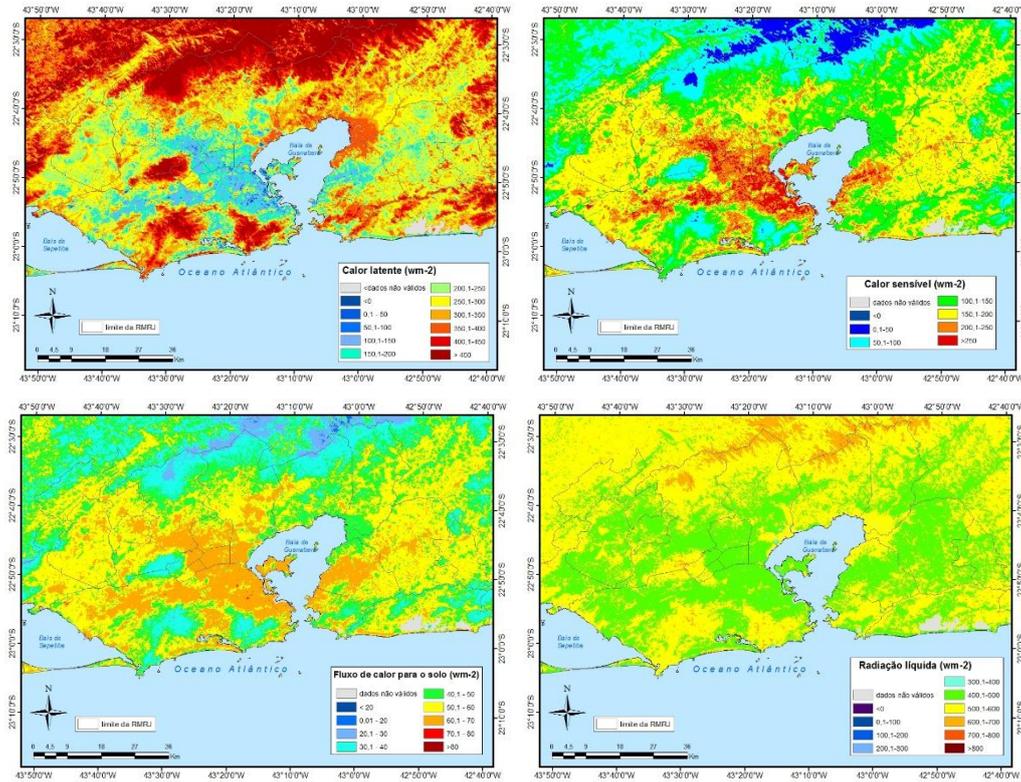


Figura 4. Igual a Figura 2, porém para a década de 00.

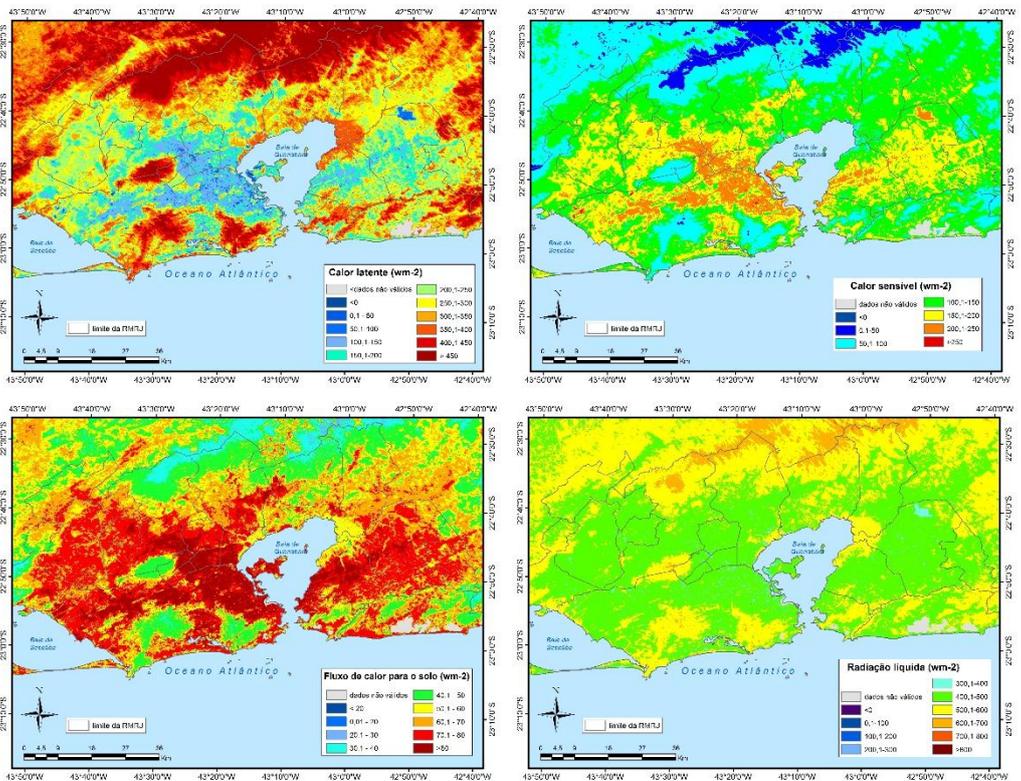


Figura 5. Igual a Figura 2, porém para a década de 10.

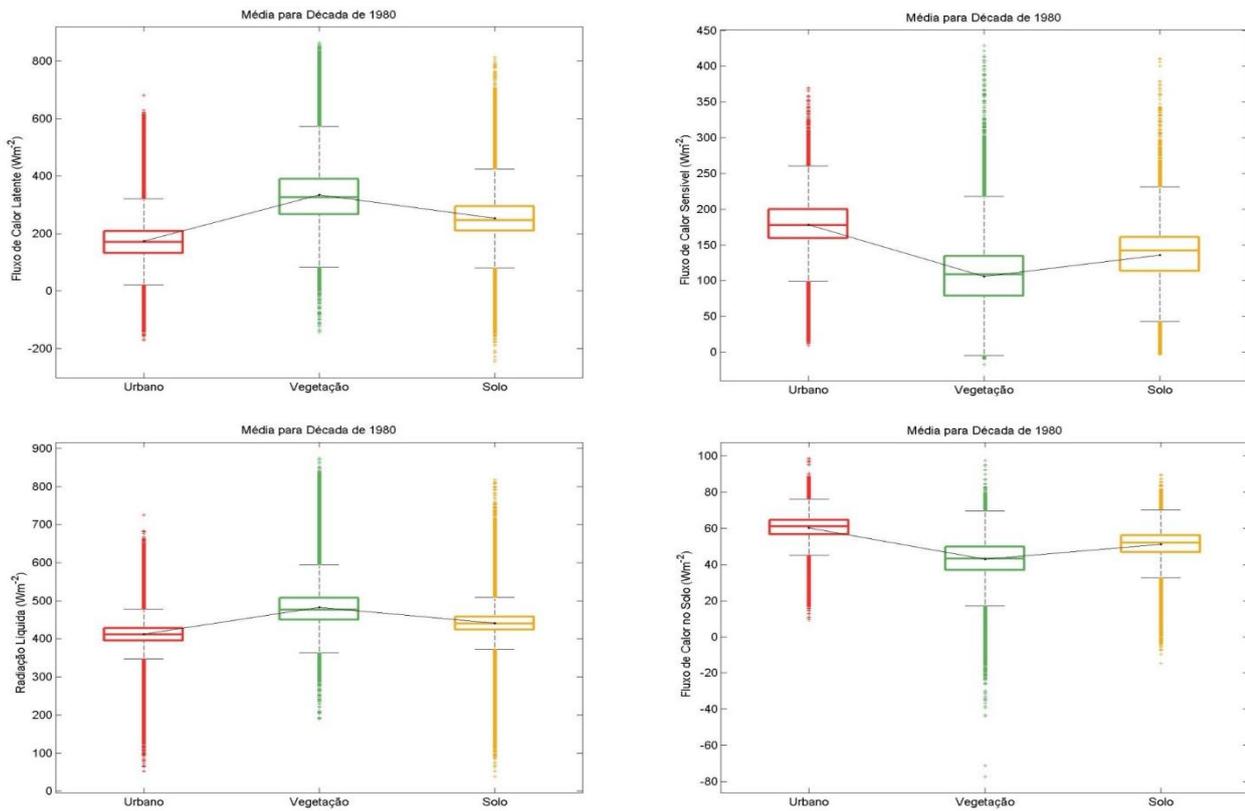


Figura 6. Caracterização para a década de 80 nas classes Urbano, vegetação e solo do fluxo de calor latente (canto superior esquerdo), fluxo de calor sensível (canto superior direito), radiação líquida (canto inferior esquerdo) e fluxo de calor para o solo (canto inferior direito). Os pontos ligados dentro das caixas representam as médias.

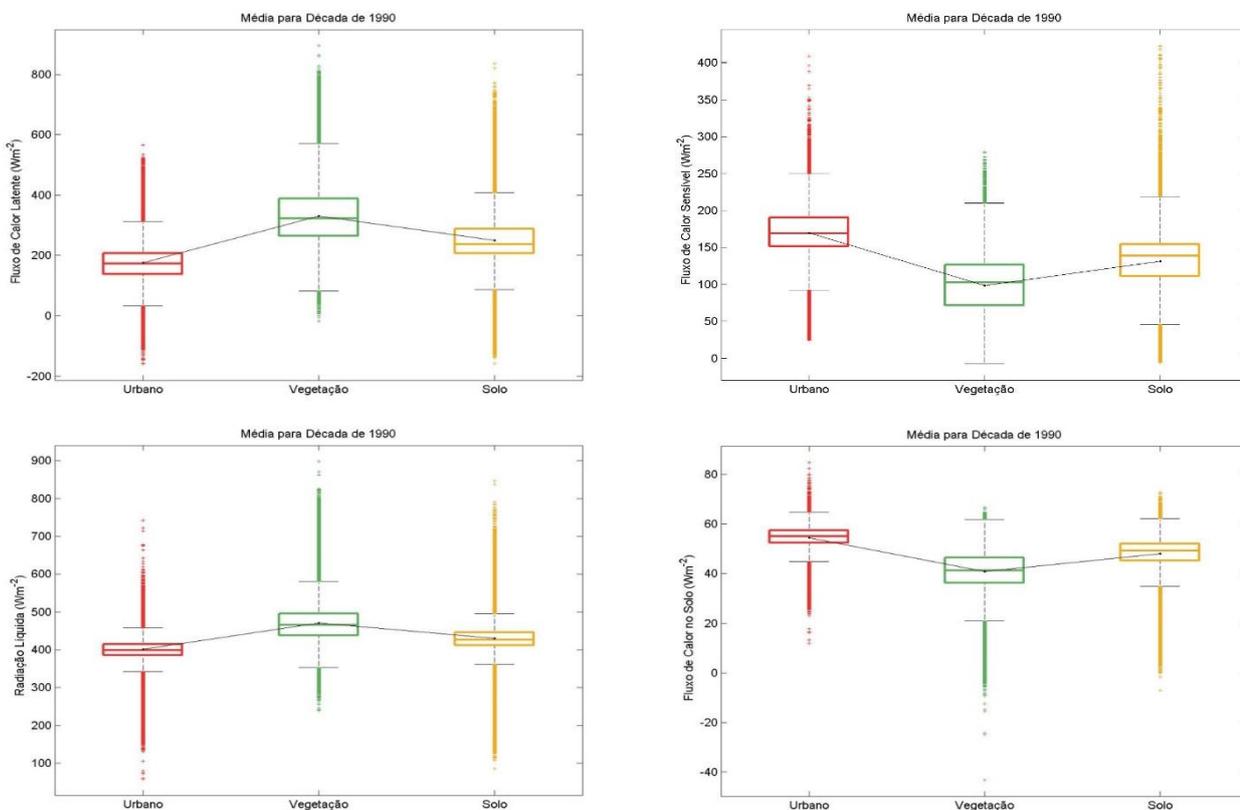


Figura 7. Igual a Figura 6, porém para a década de 90

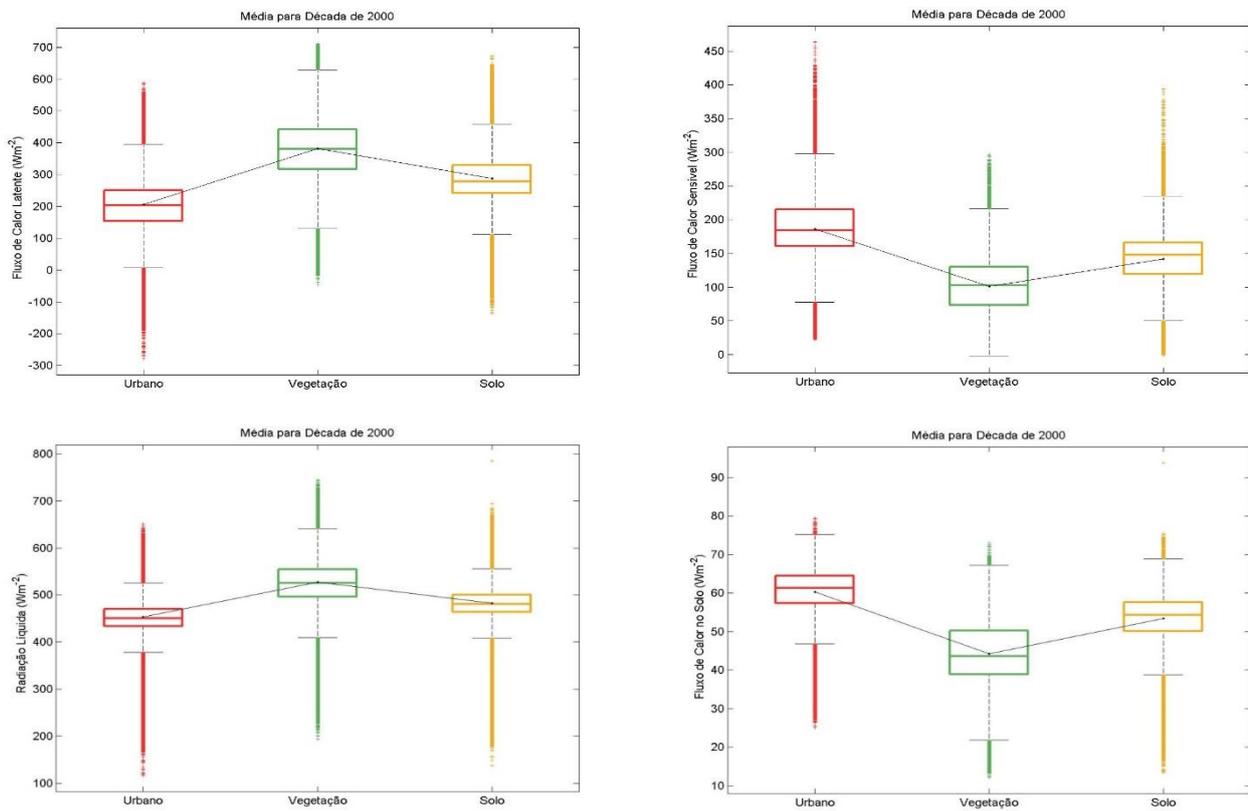


Figura 8. Igual a Figura 6, porém para a década de 90

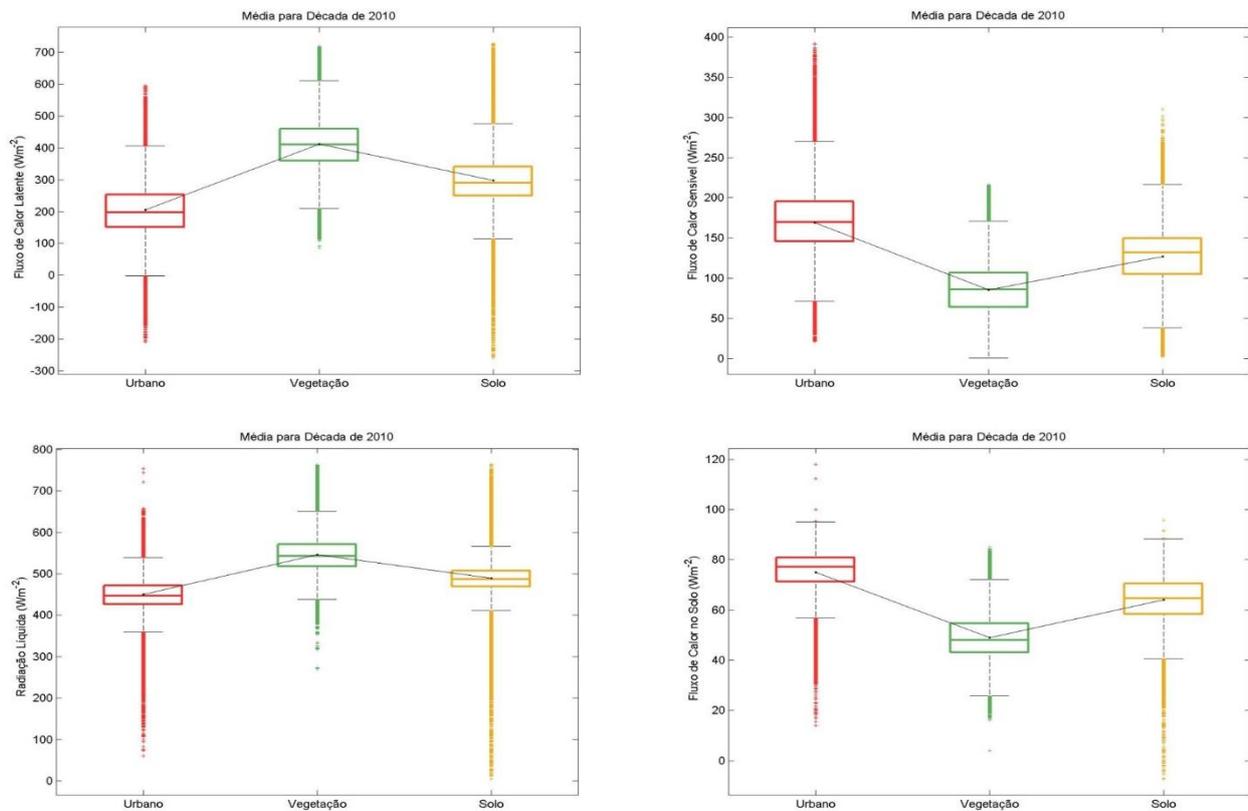


Figura 9. Igual a Figura 6, porém para a década de 10

Os mapas de uso e cobertura do solo demonstram que houve aumento da classe urbano para Leste, Oeste e Sul metropolitano. Com relação a caracterização dos fluxos, o fluxo de calor latente médio na classe urbano (vegetação; solo) de forma geral fica por volta de 200 W/m^2 (400; 300), o sensível entorno de 175 W/m^2 (75; 125), o no solo em 60 W/m^2 (40; 50) e a radiação líquida ao redor de 450 W/m^2 (550; 500). Podemos inferir que o fluxo de calor sensível é maior (menor) em áreas urbanas (vegetadas) e o oposto ocorre com o fluxo de calor latente.

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

No presente trabalho investigou-se a variabilidade espacial e temporal dos fluxos de calor à superfície na RMRJ com base em dados dos sensores TM, ETM+, OLI e TIRS a bordo dos satélites LANDSAT-5, 7 & 8. Em termos qualitativos, o presente trabalho demonstrou que o SEBAL apresentou resultados consistentes para a RMRJ quando é feita a comparação com base nas classes e nos fluxos.

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 Mapping Evapotranspiration at High Resolution with Internalized Calibration (METRIC) 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. Miranda e a FAPERJ pelo amparo ao desenvolvimento do presente estudo (E26/110.822/2013).

5. Referências Bibliográficas

- 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.
- 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.