

Uso de imagens multiespectrais aplicada à análise espaço-temporal dos padrões de temperatura e albedo da superfície

Elvis Bergue Mariz Moreira¹
Ranyere Silva Nóbrega¹

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Av. Acadêmica Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, CEP: 50670-901 Recife – PE.
elvisberg@hotmail.com; rs_nobrega@yahoo.com.br

Abstract. The surface temperature and surface albedo are important physical parameters in the spectral study of land surfaces. This paper proposes a spatio-temporal analysis of the relationship between patterns of temperature and surface albedo in the city of Recife, based on multispectral images from Landsat 5 TM satellite and remote sensing techniques. The methodology involved the implementation of models of radiometric correction, atmospheric and Algorithm SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land). We used two images for the dates 10 June 1984 and August 29, 2007. The present results proved consistent with the literature showing a strong correlation between the values of surface temperature and surface albedo, making it clear that in areas where there was an increase in temperature the values of albedo were more intense.

Palavras chaves: refletividades, balanço de energia, urbanização, ambientes construídos, reflectances, energy balance, urban, built environments

1. Introdução

As áreas urbanas são compostas por diversos materiais que possuem características peculiares, capazes de interferir de forma direta no albedo. Em virtude da elevada heterogeneidade dos materiais e elementos utilizados na expansão das malhas urbanas, expressos pelas diversas formas de uso e ocupação do solo, existem diferentes padrões de refletividade ou de albedos, pode-se observar que, dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície.

As características do uso do solo da cidade do Recife tem apresentando nos últimos anos um elevado percentual de áreas cobertas por asfalto e concreto, as quais são superfícies capazes de converter e armazenar a radiação solar incidente. Esse quadro traz consigo um grande impacto no clima urbano como o desconforto térmico, agravado pela impermeabilização do solo e a redução de áreas vegetadas. O conjunto dos fatores acima é capaz de determinar o aparecimento de um gradiente horizontal de temperatura conhecido como o fenômeno da ilha de calor urbana. (Stull, 1993).

Diversos estudos vêm sendo realizados através de sensoriamento remoto para o estudo de parâmetros físicos como temperatura de superfície e albedo de superfície, suas variações e interações com uso e ocupação do solo em áreas urbanas. Recentemente Cunha et al. (2009), analisam a distribuição espacial das temperaturas da superfície na cidade de Campina Grande através de imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 TM, entre os anos de 1984, 1989 e 2007. Os autores encontram um aumento de temperatura na área urbana com uma diferença de 8°C a 10° para o ano de 2007 em relação ao ano de 1984. Weng e Quattrochi (2006) faz uma análise da superfície terrestre seus padrões de temperatura e relação com a cobertura vegetal em Guangzhou (China) e nos aglomerados urbanos na Zhujiang (Rio das Pérolas) Delta da China. Recentemente, Weng et al (2004) utilizou uma imagem Landsat ETM+ (60 m de resolução espacial) para examinar a temperatura da superfície terrestre-vegetação em Indianápolis (EUA).

Esse trabalho propõe uma análise espaço-temporal da relação existente entre os padrões de temperatura e o albedo de superfície na cidade do Recife, tomando como base imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 TM e técnicas de sensoriamento remoto.

2. Metodologia

2.1. Caracterização da Área de Estudo

O objeto do estudo é a área urbana da cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, localizada no litoral leste do Nordeste brasileiro compreendendo uma área de 218km² Figura 4.1. A cidade está localizada na latitude 8° 03' 14" sul e na longitude 34° 52' 51" oeste de Greenwich, estando boa parte da mancha urbana situada sobre uma planície flúvio-marinha, sua altitude média varia entre 4 e 10 metros aproximadamente.

O clima da cidade é caracterizado por ser quente e úmido (AS') com chuvas de outono a inverno, seguindo a classificação de Koppen. A região estudada, por estar situada em Zona de baixas latitudes, apresenta temperaturas médias mensais em torno de 25°C, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais quentes com temperaturas superiores a 26°C. Os meses de julho e agosto apresentam temperaturas iguais ou inferiores a 24°C. A umidade relativa do ar apresenta valores médios anuais de 84% (Instituto Nacional de Meteorologia-INMET).

2.2. Material e Métodos

Neste estudo foram utilizadas duas imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat 5, composta por sete bandas espectrais, gratuitamente obtidas no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A passagem do satélite pela área em estudo ocorreu nos dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007, na órbita e ponto 215/66. Para o pré-processamento das imagens de satélite e aplicação dos índices escolhidos foi utilizado o programa Erdas Imagine 9.3 (licença do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE). A montagem final do layout foi feito no programa ArcGIS 9.3 (licença do Departamento de Ciências Geográficas da UFPE). Foi empregado parte do Algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), desenvolvido por Win Bastiaanssen (1995), o qual tem sido utilizado em diferentes países. A metodologia empregada seguiu Silva *et al.* (2005) e Bastiaanssen (2000), a qual consiste em:

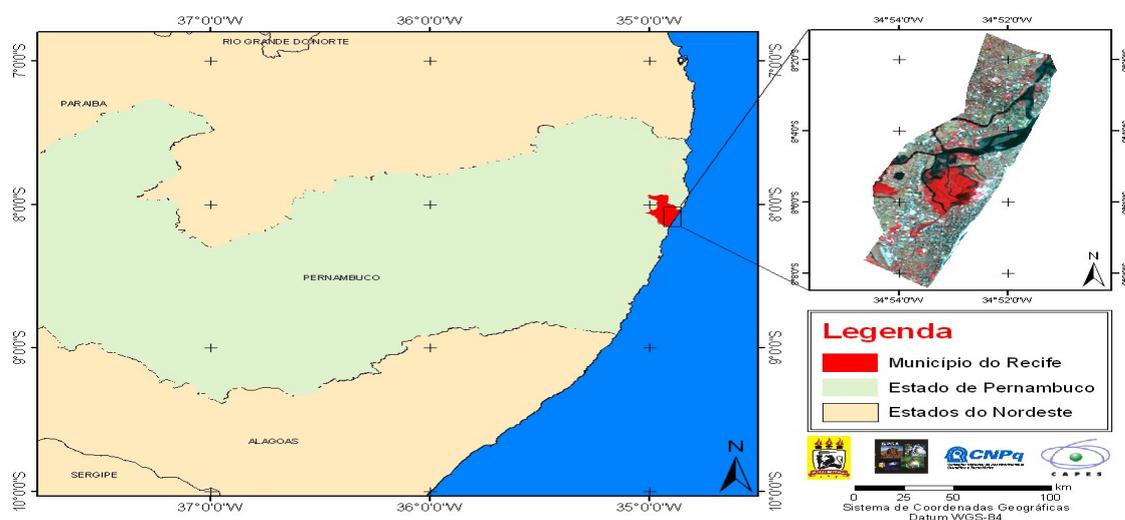


Figura 01: Localização da área em estudo destacando a mancha urbana da cidade do Recife.

2.3 Etapa 1 (Calibração radiométrica)

Nesta etapa é usada intensivamente a ferramenta do *Model Maker* que será descrito a seguir as diversas etapas para a obtenção dos índices de vegetação. A primeira etapa chamada de Radiância, ou seja, é a conversão do número digital, ND, de cada pixel da imagem em Radiância espectral monocromática de acordo com a Equação 1 apresentado por Markham e Baker (1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (01)$$

Onde a e b são as Radiância mínimas e máximas ($W m^{-2} sr^{-1} m^{-1}$), detectada pelo sensor TM do *Landsat*, ND é os números digitais da imagem que corresponde a um intervalo de 0 a 255 e i corresponde as bandas do satélite em estudo.

2.4 Etapa 2 (Reflectância espectral)

A etapa 2 representa o cômputo da reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, que é obtida com a Equação 2 (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (02)$$

Onde L_{λ_i} é a Radiância espectral de cada banda, k_{λ_i} é a irradiância espectral solar de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar e d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol.

2.5 Etapa 3 (Albedo no topo da atmosfera)

Representa o cômputo do albedo planetário (á toa), isto é, o albedo não ajustado a transmissividade atmosférica, que é obtida pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas dos canais reflectivos do TM-Landsat 5 e ETM 7, conforme Equação 3.

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (3)$$

Onde $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são reflectâncias monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7

2.6 Etapa 4 (Albedo da superfície)

Na etapa 4 obtém-se o albedo corrigido ou albedo de superfície para os efeitos atmosféricos a, através da Equação 4:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (4)$$

Em que α_{toa} é o albedo planetário, α_p é a radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) é recomendado o uso do valor de 0,03, τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que passa as condições de céu claro e obtido pela Equação 5 (Allen et al., 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} z \quad (5)$$

Em que, z é representado pela média da altitude da cidade do Recife, já que é pouco variável. Foi utilizada a média de 10 metros de altitude para a área analisada.

2.7 Etapa 5 (Índices de vegetação: SAVI e IAF)

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI) que é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo, é utilizado a Equação 6. (Huete, 1988.)

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (6)$$

Onde, L é uma constante de valor igual a 0,5 (Silva et al., 2005). Para o cálculo do índice de área foliar – IAF é necessário o modelo do SAVI corrigido (SAVI_SZ), onde se eliminam os valores negativos.

O Índice de área foliar (IAF) é definido pela razão entre a área de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é um indicador de biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo é computado pela seguinte Equação 7 empírica obtida por Allen et al. (2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (7)$$

Para o cálculo da emissividade é necessário utilizar o modelo do IAF corrigido, onde se eliminam valores negativos ou iguais a zero.

2.8 Etapa 6 (Emissividade)

Para a obtenção da temperatura à superfície, será utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética com um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal imageada pelo canal termal (ϵ_{NB}). Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida pôr cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga ϵ_0 (5-100 μ m). Segundo Allen et al. (2002) as emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas, para NDVI > 0 e IAF < 3, como pode ser observado na Equação 8.

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 IAF \quad \epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 IAF$$

$$\text{Para pixels com } \epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98 \quad (8)$$

2.9 Etapa 7 (Temperatura da superfície)

Para a obtenção da temperatura à superfície (T_s) são utilizados a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda 6}$ e a emissividade ϵ_{NB} obtida na etapa anterior, como apresentado pela Equação 9:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (9)$$

Onde $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,56 \text{ K}$ são constantes de calibração da banda termal do Landsat - 7 (Allen et al., 2002.; Silva., 2005).

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 01 estão representados os valores estatísticos: mínimo, máximo, média e moda do albedo da superfície e temperatura da superfície nos dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007. Os valores referentes ao ano de 1984 foram: 0,021 o valor mínimo encontrado, de 0,480 o valor máximo, a média e a moda obtiveram iguais valores de 0,112; para o ano de 2007 os valores foram: 0,018 o valor mínimo, de 0,653 o valor máximo, a média de 0,121 e a moda foi de 0,122. A partir dos resultados do albedo da superfície analisados, pode-se concluir que os menores valores foram para o ano de 1984. A temperatura da superfície apresentou os maiores valores no ano de 2007, tendo seu valor mínimo de 18,7°C, máximo de 33°C, média de 27°C e a moda de 28,29°C.

Tabela 01: Valores estatísticos do albedo (mínimo, máximo, média e moda), para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.

<i>Albedo da Superfície</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Moda</i>
1984	0,021	0,250	0,112	0,112
2007	0,018	0,335	0,121	0,122
<i>Temperatura da Superfície</i>	<i>Mínimo(°C)</i>	<i>Máximo(°C)</i>	<i>Média(°C)</i>	<i>Moda</i>
1984	14,94	25,7	22,2	22,48
2007	18,7	33	27	28,29

A Figura 2 apresenta os valores espaciais e temporais da temperatura da superfície e albedo da superfície para os anos em estudo. As imagens da temperatura localizadas na parte superior da figura apresentam os menores valores representados pela na classe do tom verde escuro com temperaturas < 19°C, o tom azul claro representa a classe de temperatura entre 19°C e 21°C, os tons amarelo e laranja apresentam as classes intermediárias entre 21°C e 23°C, o tom vermelho representado pela classe com os valores > 23°C destaca-se com maior intensidade na imagem de 2007, ficando evidente um aumento considerável de temperaturas ao longo dos anos. Os maiores valores do albedo da superfície foram encontrados na imagem de 2007 representados pela tonalidade vermelha na imagem com valores superiores a 0,48. A tonalidade laranja apresenta os valores do albedo variando entre 0,14 a 0,19, a tonalidade amarela apresenta os valores intermediários do albedo com intervalos variando entre 0,10 a 0,14. Os menores valores do albedo foram encontrados na água e vegetação representados pela tonalidade azul com intervalos entre 0,06 a 0,10 e verde com valores inferiores a 0,06. Os resultados do albedo estão de acordo com a literatura, as áreas que apresentam vegetação,

como árvores que possuem baixa reflectividade entre (0,15 – 0,18) e as gramas (com albedo entre 0,25 – 0,30), absorvem muita radiação solar (Oke, 1978).

Os materiais urbanos que apresentam os maiores valores de albedo correspondem aos mais claros como os concretos (0,10 a 0,35); edificações de cor branca (0,50 a 0,90) e os telhados de alta reflectividade (normalmente de folha de amianto), varia entre 0,60 a 0,70. Apesar de aboserverem menos energia, esses materiais possuem propriedades de absorção térmica fazendo com que a energia fique armazenada e contribua para o aumento das temperaturas. Robinove et al. (1981) mostraram que aumento no albedo é primeiramente devido ao solo exposto, e diminuição no albedo é primeiramente devido ao da umidade do solo e aumento na densidade da vegetação.

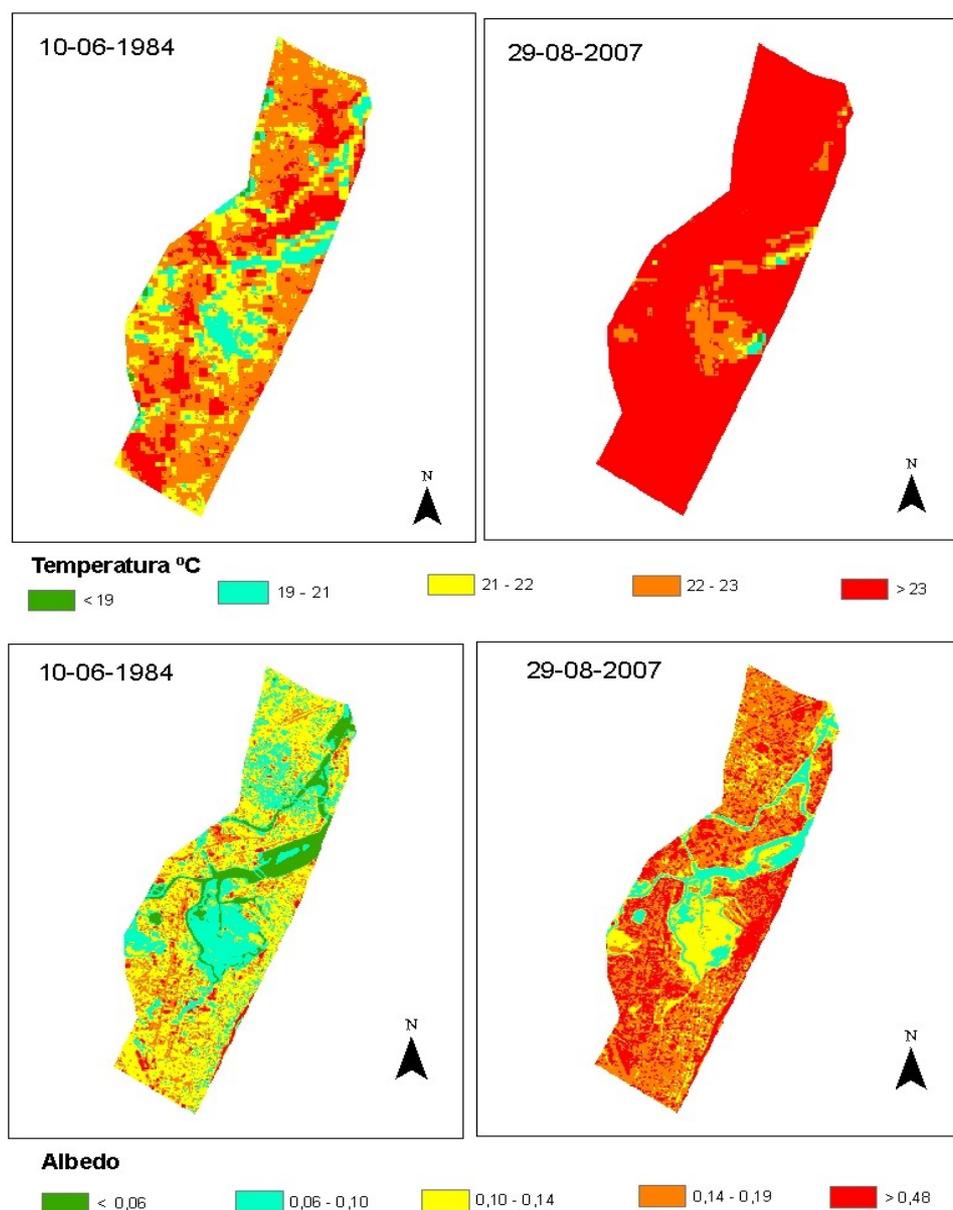


Figura 01: Imagem termal do satélite Landsat 5 (parte superior) e do Albedo da superfície (parte inferior), para os anos de 1984 e 2007 respectivamente

4. Conclusões

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram-se coerentes com a literatura evidenciando uma forte correlação entre os valores de temperatura da superfície e albedo da superfície, ficando evidente que nas áreas onde houve aumento de temperatura os valores do albedo foram mais intensos.

A intensificação do adensamento construtivo na cidade do Recife e a redução da cobertura vegetal têm contribuído de forma direta para o aumento das temperaturas, principalmente na imagem de 2007. Pressupõe-se que esse aumento está associado há pelo menos dois fatores: expansão das áreas com alta refletividade/diminuição de áreas verdes e sazonalidade da radiação solar.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro.

Referências

Allen, R.; Bastiaanssen, W.; Waters, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho implementation – Advanced training and users manual, version 1.0, 2002. 97p.

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.

Huete, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**, v.4, n.4, p.367-376, 1988.

Markham, B. L.; Barker, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. 2 nd ed. London: Ethuen & CO, 1978. 372p.

Robinove, C. J.; Chavez, P. S.; Gehring, D.; Holmgren, R. Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo Difference Images. **Remote Sensing of Environment**. v. 11, p. 133-156. 1981.

Silva, B. B. da, Lopes, G. M. & Azevedo, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

Stull, R. B.. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. 666 p. 1993.

Weng, Q. e Quattrochi, D.A. Thermal remote sensing of urban areas: An introduction to the special issue. **Remote Sensing of Environment**, p.104, 119–122, 2006.

Weng, Q. Dengsheng, L. Schubring, J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment**, v.66, n.23,p.467–483, 2004.