

ANÁLISIS DE LA ISLA DE CALOR DE SUPERFICIE EN LA CIUDAD DE UBATUBA, BRASIL

Washington PAULO GOMES¹, Margarete Cristiane de Costa TRINDADE AMORIM¹

¹UNESP, Presidente Prudente, Brasil.

wpg_ubatuba@hotmail.com, mccta@fct.unesp.br

RESUMEN

De la comparación entre la temperatura urbana, rural y los alrededores, se puede detectar la generación de las islas de calor. La ciudad no es un todo homogéneo y tiene especificaciones intra-urbanas, particularmente, en relación con las diferencias en las características del uso y ocupación del suelo en el interior de la ciudad. El uso de técnicas de teledetección ha sido una herramienta muy importante para elaboración de los diagnósticos de las islas de calor de superficie. El estudio tuvo como objetivo analizar las diferencias de temperaturas de la superficie intra-urbanas y rurales, en los episodios de verano y de invierno, en la ciudad de Ubatuba, situada en la costa norte de São Paulo, Brasil. Para la verificación de la temperatura de la superficie, fueron utilizados dos imágenes del satélite Landsat-8 del canal infrarrojo térmico (banda 10), con resolución espacial de 30 metros, capturados en los días: 19 de enero (verano) y 28 de junio (invierno) 2015. Los resultados mostraron que la zona del centro de la ciudad presentó temperaturas de la superficie extremadamente altas, siendo que las zonas edificadas respondieron más significativamente a los efectos de la radiación solar en el episodio de verano, llegando a presentar 11°C de diferencia entre las áreas conservadas de la sierra del mar y el centro de la ciudad.

Palabras clave: Isla de calor de Superficie, Sensoramiento remoto, Temperatura, Ubatuba, Brasil.

ABSTRACT

From the comparison between urban temperature and the surrounding rural, it is possible to detect the heat islands generation. The city is not a homogeneous whole and has intra-urban specificities, particularly, in relation to differences in the characteristics of the use and occupation of land into the city. The use of remote sensing techniques has been a very important tool for making diagnoses of surface heat islands. The study aimed to analyze the differences between intra-urban and rural surface temperatures, in summer and winter episodes, in Ubatuba town, located on the northern coast of São Paulo, Brasil. To the verification of surface temperature, were used two images of Landsat-8 satellite of thermal infrared channel (band 10) with a spatial resolution of 30 meters, captured in days: January 19 (summer) and 28 June (winter) 2015. The results showed that the central region of the city had temperatures of extremely high surfaces, and the built-up areas responded more significantly to the effects of solar radiation in the summer episode, even presenting 11°C of difference between the preserved areas of sea view and the center of city.

Key words: Surface heat island; Remote sensing; Temperature; Ubatuba; Brazil.

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras fueron los primeros espacios ocupados por ciudades en el Brasil y los problemas en relación la intensa ocupación de la tierra por el proceso de urbanización aún no se han resuelto. Este proceso se llevó a cabo a un ritmo acelerado, dando como resultado en una tendencia a la concentración espacial, fortaleciendo el crecimiento de las ciudades (Farias Filho, 2011; Serpa, 2007).

En las ciudades son comunes las prácticas como la impermeabilización de las superficie, el uso de materiales de construcción inadecuados, la eliminación de la cubierta vegetal original, la canalización cerrada de ríos y la emisión de contaminantes a la atmósfera. Estos cambios, asociados con las características naturales de los ambientes tropicales, proporcionan la generación de islas de calor y son registradas situaciones inadecuadas de confort y bienestar (Amorim, 2010).

De la comparación entre la temperatura urbana, rural y los alrededores, se puede detectar la generación de las islas de calor. La ciudad no es un todo homogéneo y tiene especificidades intra-urbanas, particularmente, en relación con las diferencias en las características del uso y ocupación del suelo en el interior de la ciudad.

Varios tipos de materiales de construcción absorben y retienen más radiación solar que los materiales naturales en áreas rurales o menos urbanas, favoreciendo la generación de islas de calor en zonas densamente construidas.

El uso de técnicas de teledetección ha sido una herramienta muy importante para elaboración de los diagnósticos de las islas de calor de superficie.

Tales técnicas pueden ser considerados como un gran avance en el campo de la cartografía y por lo tanto aparece como un progreso en el campo de los procedimientos metodológicos en los estudios sobre el clima urbano.

Partiendo de estas premisas, es cada vez más evidente, en los últimos años, la importancia del trabajo utilizando las técnicas de teledetección, mediante el uso de sensores infrarrojo térmico de imágenes de satélite para el diagnóstico de las islas de calor de superficie.

De esta forma, es posible obtener el mayor grado de detalle en una vista espacial de las temperaturas de la superficie y puede relacionarse con la ausencia o no de zonas verdes. Por lo tanto, es posible identificar las áreas más calientes y se correlacionan con el uso y ocupación del suelo en una determinada región y sus alrededores.

La expansión territorial urbana se caracteriza por un aumento de las áreas pavimentadas que generan inercia térmica y la producción de calor. Las islas de calor no sólo causan incomodidad térmica en ambientes tropicales, pero también son responsables por el aumento de la demanda de energía y ambientes urbanos insalubres que afectan a la salud humana (Amorim, 2009).

Es conocido que la ciudad genera un clima propio (clima urbano), como resultado de la interferencia de todos los factores que se procesan en la superficie urbana y actúan para cambiar el clima en escala local, especialmente, en el punto de vista térmico, con la formación de islas de calor (Amorim, 2005; Monteiro, 1976; Oke, 1987).

Tales islas tienen efectos adversos y afectan las personas de diferentes maneras, en muchas ocasiones, por la intensificación de la incomodidad térmica que ya se producen de forma natural en las ciudades ubicadas en la zona intertropical.

Personas sometidas a esta situación durante largos períodos de tiempo, especialmente, aquellos que son parte de los grupos de riesgo (ancianos, niños, mujeres embarazadas, cardiacos, asmáticos, etc.), pueden tener problemas desde los más simples a los más graves, tales como, irritabilidad, desconcentración, deshidratación, calambres, desmayos, agotamiento por calor y hasta la muerte (Gartland, 2010).

Las islas de calor urbanas se pueden diferenciar en tres tipos:

1 – Isla de calor de superficie diagnosticada por teledetección; 2 – la isla de calor atmosférica inferior (urban canopy layer), entre el nivel del suelo y el nivel medio de los tejados; 3 – isla de calor urbana atmósfera superior (urban boundary layer).

La característica más significativa de la isla de calor es su intensidad, entendida como la diferencia entre el máximo de la temperatura urbano y el mínimo de la temperatura de rural (Oke, 1987).

García (1996), clasifica las diferencias térmicas en islas de calor de baja magnitud cuando las diferencias entre los puntos más calientes y más fríos varían de 0°C a 2°C, media magnitud en el intervalo de 2°C a 4°C, fuerte magnitud cuando intervalo es de 4°C a 6°C y muy fuerte cuando superior de 6°C.

Las islas de calor surgen, a través de la diferencia entre el balance de energía urbana y rural, además, las diferencias intra-urbanas existentes. La isla de calor se puede definir como una anomalía térmica positiva, siendo posible, obtener su dimensión horizontal, vertical y temporal. Su amplitud y intensidad están relacionadas con el proceso de urbanización, la morfología urbana, tamaño de la ciudad, la densidad y las características de uso y ocupación del suelo, y también relacionados con factores naturales, como, la dinámica atmosférica y la situación sinóptica, el relieve, la presencia de superficies con vegetación y agua y la circulación de los vientos (Ugeda Junior, 2011).

El estudio tuvo como objetivo analizar las diferencias de las temperaturas de la superficie intra-urbanas y rurales, en los episodios de verano y de invierno, en la ciudad de Ubatuba, situada en la costa norte de São Paulo, Brasil.

La ciudad de Ubatuba (Figura 1) se encuentra en la costa norte del estado São Paulo, en la latitud del Trópico de Capricornio. Cuenta con un área continental de 723 km² (IBGE Censo 2010) y se encuentra en una zona de transición climática entre los sistemas atmosféricos intra y extratropicales, con un mayor rendimiento de los sistemas tropicales y grande actividad frontal.

El área está ubicada entre la parte superior de la Sierra del Mar y la línea de costa, tiene una franja costera relativamente estrecha que van desde 8 a 16 km de ancho y 92 km de extensión.

Según Cruz (1990), este tramo de la costa norte aparece muy irregular, compuesto por gran cantidad de hebras alargadas, en su mayoría empinadas, con fuertes diferencias de altura entre la parte superior y el fondo de los valles y la presencia de escarpes festoneados, en muchos casos, que termina directamente en el océano.

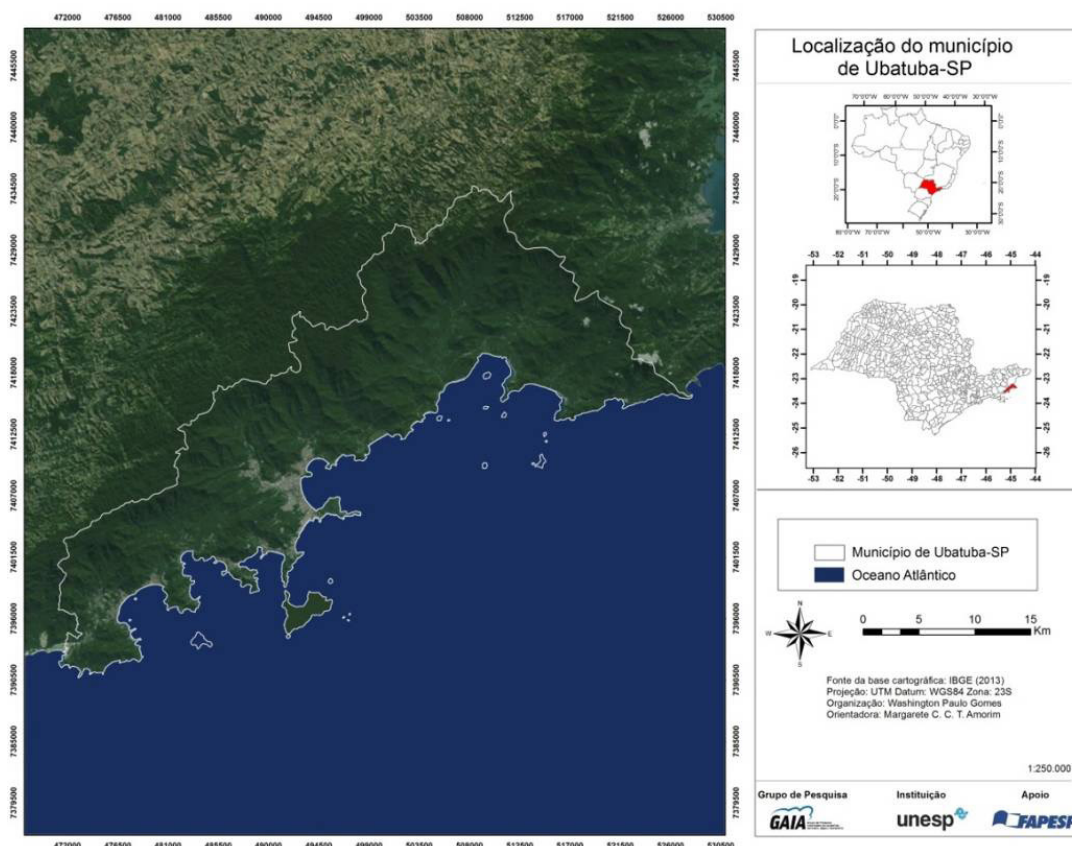


Fig. 1. Localización de la ciudad de Ubatuba, São Paulo, Brasil

2. MÉTODOS

Con la evolución de las técnicas y la facilidad de acceso a las imágenes orbitales, la teledetección se ha convertido en una importante herramienta para el seguimiento de los procesos ambientales y se ha utilizado con gran frecuencia en estudios climatológicos que contribuya a hacer diagnósticos de las islas de calor superficie, la identificación de los niveles de vegetación y permitir la toma de decisiones para la conservación del medio ambiente (Ramos, 2010).

De acuerdo con (Jensen, 2009), la teledetección es el registro de la información de una determinada región, sin contacto, a través de instrumentos, tales como, los dispositivos ubicados en plataformas como aviones o satélites, y el análisis de la información adquirida a través del procesamiento digital de la imagen o visual. El objeto reflejado es registrada por el sensor de medición de la radiación electromagnética, como la luz solar reflejada desde la superficie de cualquier objeto.

Los sensores remotos son dispositivos capaces de registrar la radiación electromagnética, expresados en términos de longitud de onda. El espectro electromagnético se divide en regiones o bandas espectrales, así, cada objetivo de la superficie de la tierra que emite o refleja la radiación tiene un comportamiento diferente de onda en el espectro electromagnético.

La verificación de la temperatura de la superficie y el diagnóstico de la isla de calor urbana se han realizado mediante técnicas de teledetección. Las imágenes del satélite Landsat-8 canal infrarrojo térmico (banda 10), con una resolución espacial de 30 metros, fueron adquiridos de forma gratuita a través de la página web de la organización "United States Geological Survey" (USGS), y se corresponden con el punto de la órbita 218/76.

Los procedimientos para el mapeo de la temperatura de la superficie, se realizaron en el *software* IDRISI versión Taiga. Utilizaron las constantes de calibración del sensor del satélite para la conversión de números digitales en energía radiante, representados en tonos de gris.

La conversión del nivel de gris para la información de radiancia se llevó a cabo después de la creación de un proyecto para importar la imagen del canal térmico (banda 10) en el Idrisi por la aplicación de la fórmula (Tabla 1):

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

L_{λ}	Radiancia espectral en el techo de la atmosfera (Watts/(m ² * srad * μm))
M_L	El factor multiplicativo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el o número de la banda)
Q_{cal}	Producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (DN)
A_L	El factor aditivo de escalado específico obtenido del metadato (RADIANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda)

Tabla 1: Los elementos de la fórmula de conversión a radiancia.

Fuente: United States Geological Survey

En seguida, la energía radiante puede ser convertida a temperatura en grados Kelvin, usando la constante térmica suministrada en el archivo de metadatos, por medio de la siguiente fórmula (Tabla 2):

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

T	Temperatura de brillo aparente en el satélite en grados kelvin
K2	Constante de conversión 2
K1	Constante de conversión 1
L	Reflectancia en el techo de la atmosfera (Watts/(m ² * srad * μm))

Tabla 2: Los elementos de la fórmula de conversión a Kelvin.

Fuente: United States Geological Survey

Después de estos procedimientos, aplicar la fórmula para convertir la temperatura Kelvin en grados Celsius, restando los valores de temperatura de cada píxel de la imagen por 273,15, por medio de la siguiente fórmula (Tabla 3):

$$^{\circ}\text{C} = \text{ImgK} - 273,15 \quad (3)$$

$^{\circ}\text{C}$	Temperatura de la imagen en grados Celsius
ImgK	Temperatura de la imagen en Kelvin

Tabla 3: Los elementos de la fórmula de conversión a grados Celsius.
Fuente: United States Geological Survey

Para este estudio fueron seleccionados las cartas de la temperatura de la superficie que representan el verano y el invierno, ya que estas son las estaciones del año en que la incidencia de la radiación solar más directa y así, resultan en diferentes respuestas de la superficie. Por lo tanto, utilizaron imágenes de satélite captadas en los días 19 de enero y 28 de junio de 2015.

3. RESULTADOS

Las imágenes de satélite permitieron la visualización del diseño de las temperaturas intra-urbano, que resulta de la distribución de las fuentes de calor que contribuyen a la generación de islas de calor de superficie.

El uso del sensor infrarrojo térmico es una técnica importante para proporcionar la temperatura cualitativa de la ciudad, lo que puede contribuir en gran medida a la perspectiva de la planificación urbana, en la medida en que se definen los patrones de la distribución de la temperatura superficial de acuerdo con el uso y ocupación de tierra (Amorim, 2011).

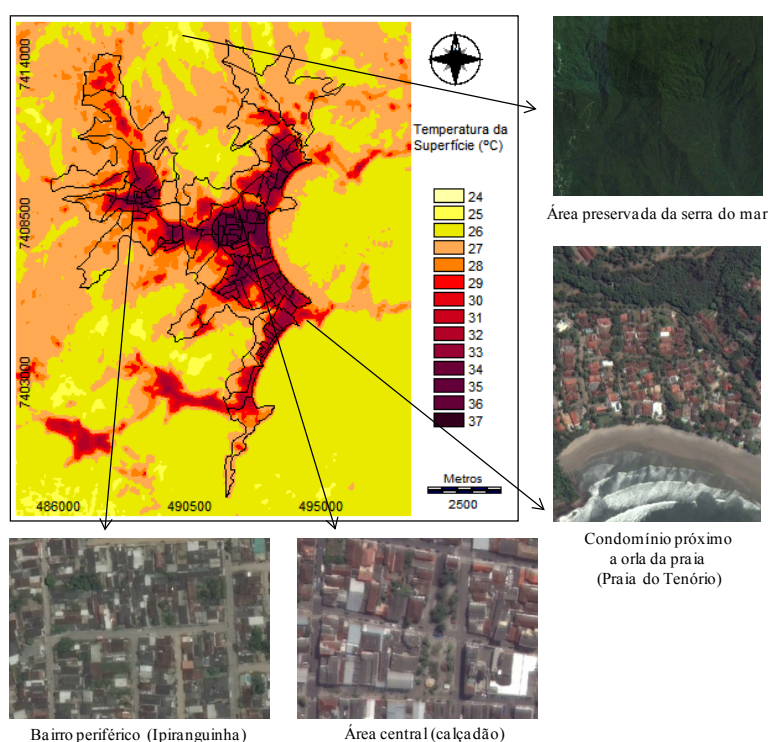


Fig. 2. Carta de temperatura de la superficie de la ciudad de Ubatuba-SP preparada a partir de la imagen infrarrojo térmico (banda 10) del sensor TIRS do Landsat-8 de 19/01/2015

El análisis de imágenes de satélite de la zona urbana de Ubatuba y sus alrededores, en referencia al episodio del verano (Figura 2), capturado en el día 19 de enero de 2015, puede verse que las temperaturas de los objetivos se presentan muy alto, llegando a 37°C.

De este modo, la ciudad respondió de manera más significativa a los efectos de la radiación solar en el estación de verano presentando 13°C diferencia entre las áreas conservadas de la sierra del mar y el centro de la ciudad, y también en relación con los barrios periféricos de bajo poder adquisitivo, que varían en términos absolutos de temperatura entre 24°C y 35°C.

Como puede verse en la Figura 2, en el residencial de alto poder adquisitivo situado frente a la playa, las temperaturas se mantuvieron alrededor de 28°C y 29°C, principalmente, debido la calidad de los materiales de construcción y la fuerte presencia de la vegetación arboracia.

En la imagen de satélite se refiere al episodio de invierno (Figura 3), capturado el día 28 de junio de 2015, las temperaturas absolutas de los objetos fueron más suave en toda la ciudad, sin embargo, también puede notar diferencias de hasta 11°C del centro de la ciudad en comparación con otras zonas.

De este modo, en relación los análisis de las temperaturas de las zonas intra-urbano, se dio cuenta de que es claramente la influencia y la importancia de la vegetación para el aumento o no de la temperatura de la superficie. En las zonas más cerca de la Sierra del Mar, las temperaturas presentan forma más leve que en las zonas densamente urbanizadas.

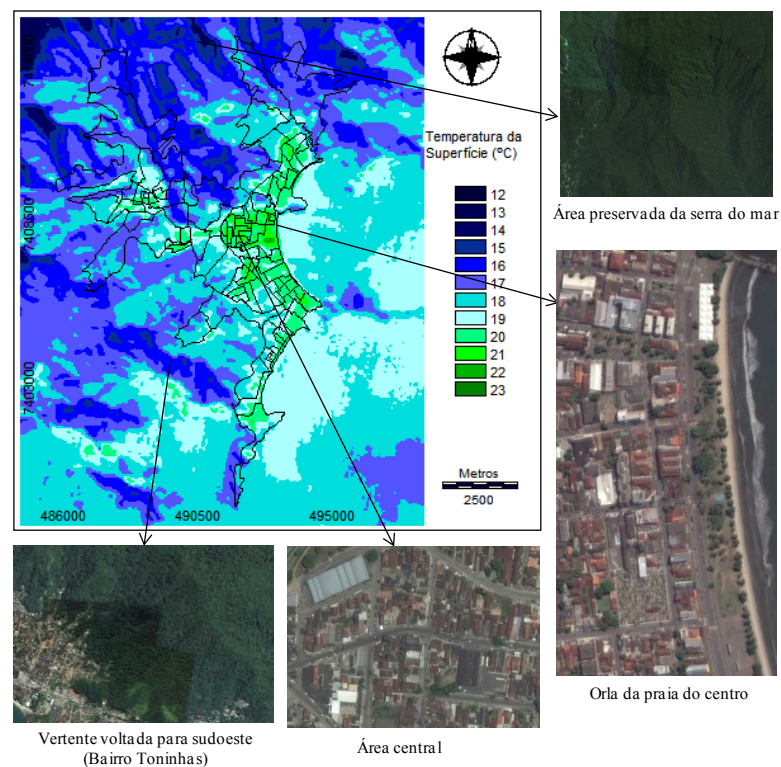


Fig. 3. Carta de temperatura de la superficie de la ciudad de Ubatuba-SP preparada a partir de la imagen infrarrojo térmico (banda 10) del sensor TIRS do Landsat-8 de 28/06/2015

Asi mismo con diferencias absolutas bastante significativas entre los dos episodios (verano e invierno), se encontró que las áreas con temperaturas superficiales más altas se repitieron en ambos casos, siendo posible identificar grandes islas de calor urbana de superficie por toda la ciudad, especialmente en zona central, densamente urbanizadas.

4. DISCUSIÓN

El uso de técnicas de teledetección es importante para los estudios en el campo de la climatología urbana. A través de la información generada por estas técnicas fue posible verificar las diferencias en las temperaturas de los objetos en el ambiente urbano y la caracterización de las islas de calor de superficie en la ciudad de Ubatuba-SP.

Como se puede ver la ciudad no es un todo homogéneo y tiene especificidades intra-urbanas, particularmente, en relación con las diferencias de las características del uso y ocupación de la tierra. Las áreas con existencia significativa de vegetación arborécea contribuyen a la disminución de las temperaturas, mientras que las zonas con mayor densidad de residencias y especialmente aquellos con la presencia de materiales de construcción inadecuados contribuyen al sobrecalentamiento de los edificios y la formación de islas de calor de superficie.

Se observó que algunos locales de la ciudad presentaran altas temperaturas y pueden afectar negativamente el confort de la población. En este sentido, medidas deben ser tomadas para que situaciones de altas temperaturas sean amenizadas, especialmente en el período de verano, ya que las temperaturas elevadas llegan a los 37°C.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo n. 2015/04784-1, por el financiamiento de las actividades de investigación.

REFERENCIAS

- Amorim, M.C.C.T. (2005). Intensidade e Forma da Ilha de Calor Urbana em Presidente Prudente/SP. Geosul (UFSC), Florianópolis, volumen 20 (39), 65-82. Recuperado de <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/13307/12269>.
- Amorim, M. C. C. T. (2010). Climatologia e gestão do espaço urbano. Mercator, Fortaleza, volumen 9, 71-90. Recuperado de <http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/534/299>.
- Amorim, M. C. C. T.; Sant'anna Neto, J. L.; Dubreuil, V. (2009). Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical. Revista de Geografia Norte Grande, volumen 43, 65-80. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n43/art04.pdf>.
- AMORIM, M. C. C. T., MONTEIRO, A. (2011). As temperaturas intraurbanas: exemplos do Brasil e de Portugal. Confins (Paris), volumen 13, 1-18. Recuperado de <https://confins.revues.org/7284?lang=pt>

- Cruz, O. (1990). Contribuição Geomorfológica ao estudo de escarpas da serra do mar. Revista Instituto Geológico, São Paulo volumen 8 (1), 09-20. Recuperado de <http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/rig/v8-11n1/v8-11n1a02.pdf>.
- FARIAS FILHO, J. A. (2011). Litoralização Metropolitana. Uma avaliação das políticas urbana e ambiental no litoral metropolitano cearense. In: XIV Encontro Nacional da ANPUR, 2011, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ANPUR, 2011. v. 1. p. 01-20. Recuperado de <http://unuhostedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/anais/article/view/2657/2597>
- García, F. F. (1996). Manual de climatologia aplicada: clima, medio ambiente y planificación. Madrid: Editorial síntesis.
- Gartland, L. (2010). Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de textos.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Demográfico 2010. Recuperado de <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>.
- JENSEN, John R. (2009). Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parênteses.
- MONTEIRO, C. A. de F. O clima e a organização do espaço de São Paulo: problemas e perspectivas. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. (Série Teses e Monografias, nº 28).
- Oke T. R. (1987). Boundary Layer Climates. Routledge.
- RAMOS, R. R. D. et, al. Aplicação do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, p. 01-06, 2010. Recuperado de https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/FotoeSR/SR_e_PDI/A_157.pdf
- SERPA, A. (2007). Periferização e metropolização no Brasil e na Bahia: O exemplo de Salvador. GeoTextos, volumen 3, (1 e 2), 31-46. Recuperado de <http://www.portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/3044/2147>
- Ugeda Júnior, J. C. (2011). Clima urbano e planejamento na cidade de Jales-SP. Dissertação de Doutorado. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista.
- United States Geological Survey (USGS). Science for a changing world. Recuperado de http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php