

CRESCIMENTO URBANO E VARIAÇÕES TÉRMICAS EM SÃO LUIS-MA

Ronaldo Rodrigues Araújo
UFMA
ronaldo.rodriques16@terra.com.br

Mauricio Eduardo Salgado Rangel
UFMA
mrangel@elo.com.br

CLIMA DAS CIDADES

Os elementos climáticos estão submetidos a fatores definidos em escala superior, porém, podem ser modificados a partir do espaço construído, tendo suas dinamicidades próximas à superfície redefinidas, gerando o clima urbano. Os estudos relacionados a essa problemática devem servir de subsídios para o planejamento urbano, buscando simular os desdobramentos dos processos, na tentativa de melhor aproveitar o espaço físico e precaver-se contra prováveis problemas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho, é avaliar como o crescimento urbano determinou as variações térmicas para a população urbana no município de São Luís. Para tanto, foram realizados mapeamentos e inferências de análise espacial em dados provenientes de sensores remotos, para o estudo de parâmetros físicos como temperatura de superfície, suas variações e interações com uso e ocupação do solo em áreas urbanas do município de São Luís (MA), no período compreendido de 1992 e 2010. Os resultados obtidos indicam uma forte correlação entre o aumento da variação térmica no período analisado, decorrente das mudanças no padrão de uso da terra, aumentando consideravelmente o desconforto térmico da poluição.

Palavras-Chave: Expansão urbana; Variação térmica; Sensoriamento remoto; São Luis (MA).

Os elementos climáticos estão submetidos a fatores definidos em escala superior, porém, podem ser modificados a partir do espaço construído, tendo suas dinamicidades próximas à superfície redefinidas, gerando o clima urbano. Os estudos relacionados a essa problemática devem servir de subsídios para o planejamento urbano, buscando simular os desdobramentos dos processos, na tentativa de melhor aproveitar o espaço físico e precaver-se contra prováveis problemas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho, é avaliar como o crescimento urbano determinou as variações térmicas para a população urbana no município de São Luís. Para tanto, foram realizados mapeamentos e inferências de análise espacial em dados provenientes de sensores remotos, para o estudo de parâmetros físicos como temperatura de superfície, suas variações e interações com uso e ocupação do solo em áreas urbanas do município de São Luís (MA), no período compreendido de 1992 e 2010. Os resultados obtidos indicam uma forte correlação entre o aumento da variação térmica no período analisado, decorrente das mudanças no padrão de uso da terra, aumentando consideravelmente o desconforto térmico da poluição.

Palavras-Chave: Expansão urbana; Variação térmica; Sensoriamento remoto; São Luis (MA).

The elements are subjected to climatic factors defined in larger scale, however, can be modified from the built environment, and its near-surface dinamicidades redefined, creating the urban climate. The studies related to this issue should serve as support for urban planning, seeking to simulate the unfolding processes in an attempt to better take advantage of the physical space and guard against potential problems. Thus, the aim of this research is to assess how urban growth determined the thermal variations for the urban population in the municipality of São Luís Therefore, mappings and inferences were performed spatial analysis on data from remote sensors to study physical parameters such as surface temperature, its variations and interactions with the use and occupation of land in urban areas of São Luís (MA) in the period 1992 to 2010. The results indicate a strong correlation between increased thermal variation in the analyzed period, resulting from changes in the pattern of land use, greatly increasing the thermal discomfort of pollution.

Keywords: Urban expansion; Thermal variation; Remote Sensing; Sao Luis (MA).

1. Introdução

Os estudos que abordam as causas e conseqüências da urbanização para o clima urbano podem dar subsídios para o planejamento das cidades, para que estas não cresçam desordenadamente e sua população não venha a sofrer com o desconforto térmico causado pela falta de planejamento da infraestrutura da cidade. Assim, surge o chamado clima urbano que está, diretamente, relacionado à saúde e o bem-estar humano, através dos diferentes elementos atmosféricos como a temperatura do ar, a temperatura radiativa, a umidade atmosférica e o vento, designados em conjunto por complexo térmico e ao uso do solo urbano em suas várias formas de manejo.

As alterações promovidas no clima em escala local manifestam-se principalmente em alterações na temperatura e umidade, direção e intensidade dos ventos, na qualidade do ar, níveis de conforto térmico, relação direta com disseminação de vetores de doenças, impactos pluviiais e ainda através de outros efeitos indesejáveis capazes de intervir de forma danosa no funcionamento da cidade, prejudicando a qualidade de vida dos seus usuários.

O clima urbano tem sido alvo de preocupação e estudos para cientistas em todas as partes do mundo, pois as cidades estão cada vez mais aglomeradas e esta cada vez mais aumentando os fatores que contribuem para que altere a temperatura da cidade contribuindo para que a população sofra ainda mais com essas mudanças. (ALCOFORADO e ANDRADE, 2007)

Dentre os estudos de clima urbano, destaca-se sem dúvida o fenômeno denominado ilha de calor que resulta da combinação de diversos fatores urbanos específicos, tais como: efeito da transferência de energia nas construções urbanas, com formas especiais (estruturas verticais, cores albedo e tipo de material constituinte); evaporação reduzida e conseqüentemente falta do efeito refrescante a ele associado (pouco revestimento vegetal e rápido esgotamento das águas pluviiais por canalizações); produção de energia antropogênica pelos processos realizados nas indústrias, trânsito e residências.

As ilhas de calor podem determinar o conforto climático de populações urbanas, afetando sua saúde, seu trabalho e suas atividades de lazer. Há também efeitos econômicos, como por exemplo custos de controle climático dentro dos prédios e efeitos ambientais como a formação de *smog* nas cidades e a degradação de áreas verdes.

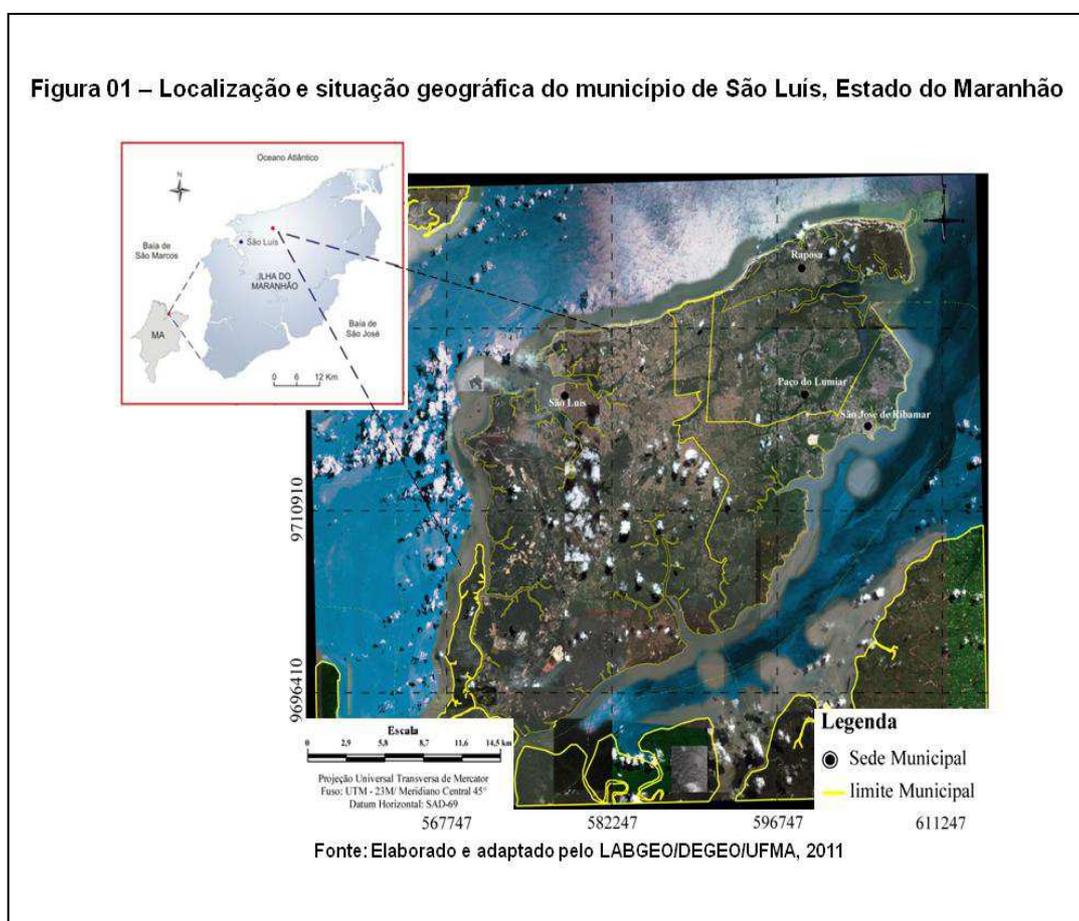
No caso do município de São Luís, entende-se que os fatores acima mencionados, associados ao crescimento físico - territorial acelerado, não implicou somente na ocupação desordenada do território municipal, contrário às determinações estabelecidas pela legislação de zoneamento urbano, como também, influenciou o seu clima local.

Neste contexto, objetiva-se, neste trabalho, abordar de que maneira esse crescimento territorial propiciou não somente mudanças no padrão de uso da terra, mas também, comprometeu o conforto térmico para a população urbana no município de São Luís (MA), bem como das variabilidades de

temperatura identificadas a partir da aplicação de técnicas de inferência e análise de dados espaciais em imagens de sensor remoto, entre os anos de 1992 e 2010.

2. Localização e caracterização da área de estudo

A Ilha do Maranhão é composta por quatro municípios: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. A área selecionada para o presente estudo corresponde ao espaço urbano do município de São Luís, o qual está localizado na porção oeste da ilha, limitando-se ao norte com o Oceano Atlântico; ao sul, com a Baía de São José e o Estreito dos Mosquitos; a leste com a Baía de São José e a oeste com a Baía de São Marcos. A área está compreendida na Mesorregião Norte Maranhense e na Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís. Sua localização se dá pelas coordenadas de 02°24'27" e 2°29'32" de Lat. Sul; 44°15'48" e 44°17'41" de Long. Oeste, respectivamente (Figura 01).



O município de São Luís ocupa a maior parte da ilha, a qual possui clima equatorial quente-úmido, temperatura média do ar de 28° C, ventos dominantes NE e velocidade média de 6 m/s. A pluviometria média é de 2.900 mm/ano. Os meses em que mais chove são: fevereiro, março, abril e os mais quentes são: outubro, novembro e dezembro.

Sob o aspecto urbano, o município teve um crescimento territorial acelerado e desordenado, principalmente a partir de 1970 (Figura 02), com o aumento populacional (Gráfico 01) motivado principalmente por questões associadas a diversos fatores: política fundiária (favoreceu o êxodo rural), investimentos do Programa Grande Carajás (a possibilidade de emprego possibilitou o atrativo migratório), melhoria da acessibilidade para a capital (construção e ampliação de novas rodovias), dentre outros. Isso sem dúvida alguma propiciou o surgimento de novas áreas urbanas para a implantação de conjuntos populacionais financiados pelo poder público e pela iniciativa privada, mas também, motivou o surgimentos de ocupações desordenadas e irregulares, conhecidas popularmente em São Luís como *invasões* tanto em terras firmes como em locais insalubres, como no caso das palafitas nas áreas dos manguezais.

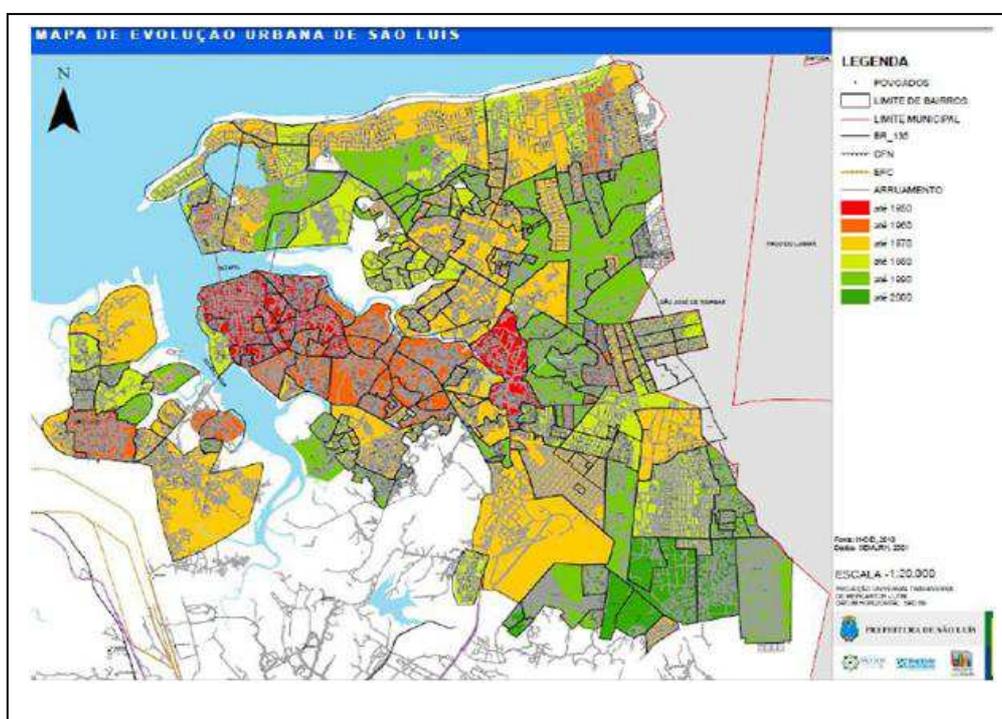


Figura 02. Mapa de Evolução Urbana de São Luís.
Fonte: INCID, 2010

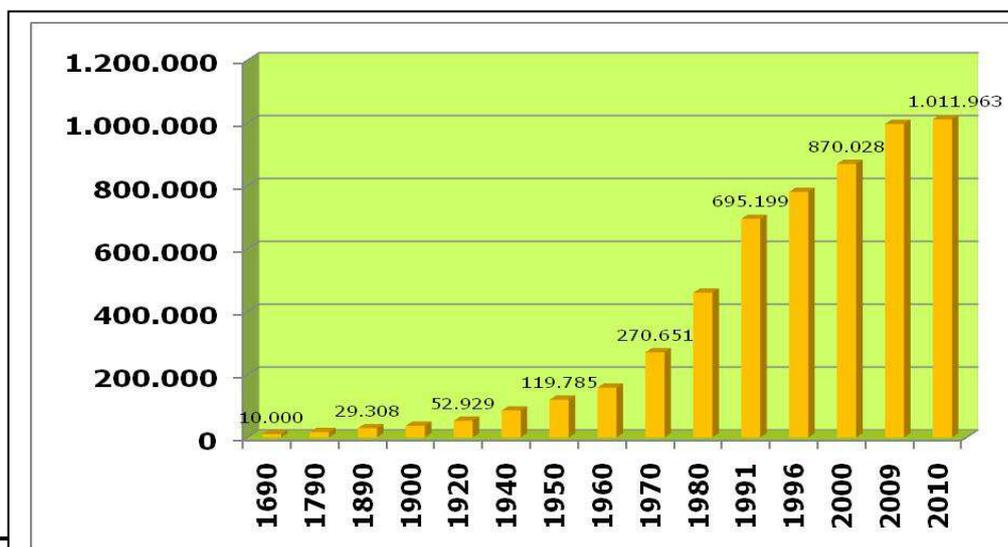


Gráfico 01. Evolução demográfica do município de São Luís (1690 a 2010)

Fonte: IBGE. Censos Demográficos (diversos anos)

Na atualidade, esse processo de crescimento populacional e do espaço urbano ainda é mantido por forças e atrativos econômicos distintos, mas ainda sob a égide do capitalismo imobiliário, que através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) de âmbito federal ou mesmo pela atuação de grandes incorporadoras e construtoras nacionais, promovem a cada ano o surgimento de novos empreendimentos imobiliários de condomínios de médio e alto padrão, com destaque para os verticais, reforçando assim, o ciclo vicioso de ocupação do espaço pelo poder público e/ou privado, pelas ocupações irregulares da população menos favorecidas, o que representa de qualquer modo, uma forte necessidade e pressão sobre as áreas naturais que são sobrepostas a uma superfície cada vez mais impermeabilizada, que traz consigo evidentemente, conseqüências na variação térmica na zona urbana do município e agravos para a sua população.

3. Metodologia

Para Florenzano (2002), as imagens provenientes de plataformas orbitais proporcionam uma visão sinóptica e multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre. Assim, o uso de imagens de sensores remotos para estudos de dinâmica de uso e ocupação do solo tem se mostrado, ao longo dos últimos anos, uma prática muito utilizada, permitindo e possibilitando uma visão mais holística no processo de aquisição de dados que seriam inviáveis de serem adquiridos sem a utilização das mesmas.

Neste trabalho, foram utilizadas imagens do sensor TM/Landsat-5, cedidas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e pela GLCF (Global Land Cover Facility – The University of Maryland USA). A aquisição das imagens, pelo sensor, se deu nos anos de 1992 e 2010, órbita/ponto 220/062, em que cada cena comporta uma área de 185 x 185km. Estas foram fornecidas no formato Geotiff, nas bandas (canais do espectro eletromagnético) 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 6 (infravermelho termal).

Para o pré-processamento e pós-processamento dos dados de sensoriamento remoto foi utilizado software ArcGis v.10, através das extensões do Spatial Analyst e Image Analysis, para gerar o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e as temperaturas nas imagens orbitais na área do município de São Luís (MA).

4. Estudo do clima urbano e a sua importância para o planejamento das cidades.

O rápido crescimento urbano verificado no Brasil fez com que a ocupação das cidades ocorresse de forma desordenada – já que essa não foi precedida de uma política de estruturação para adequar-se à nova condição. Esse crescimento demográfico, ocorrido especialmente nas cidades de médio e grande

porte, desencadeou uma série de problemas ao ambiente, como resultado do aumento desmesurado da malha urbana, da verticalização e uso intensivo do solo nas áreas centrais, excessiva impermeabilização, substituição de áreas verdes por áreas construídas, proliferação de assentamentos que desconsideram as restrições do sítio físico, entre outros, fazendo reproduzir nas cidades modelos urbanos com baixa qualidade ambiental. (GOMES, 2008)

Os diversos microclimas, freqüentemente, deixam de ser considerados no planejamento das cidades, tampouco tem sido dada a devida importância às condições climáticas urbanas resultantes da interação da natureza e da sociedade (morfologia do relevo, massas de vegetação, estrutura urbana e circulação de ar, entre outras). O conhecimento das condições climáticas em localidades diferenciadas na cidade pode contribuir para a melhoria das condições de conforto humano dentro e fora das edificações, bem como para o uso racional da energia e, portanto, colaborar com o desenvolvimento humano duradouro.

As cidades geralmente cresceram sem considerar as características naturais do meio e a ocupação do ambiente natural ocorreram de forma impactante. É nesse sentido que se salienta a importância do estudo a respeito do clima urbano, uma vez que, com o crescimento desordenado das cidades, torna-se urgente o conhecimento das peculiaridades de cada região para que sejam levadas em conta no exercício do planejamento urbano.

Como uma consequência da rápida urbanização, em especial, a do mundo tropical, os efeitos urbanos, tais como a ilha de calor, está ganhando mais relevância nas grandes cidades tropicais. Enquanto este tipo de fenômeno tem aspectos econômicos positivos nas áreas urbanas das latitudes médias (economia de energia para aquecimento durante o inverno), a temperatura urbana excessiva observada num número crescente de cidades tropicais serve apenas para aumentar as já elevadas cargas térmicas. (MCMICHAEL, 2003)

Katzschner (1997) aponta o estudo do clima urbano como um instrumento para o planejamento das cidades, pois considera a circulação do ar e as condições térmicas aspectos relevantes para a preservação e/ou o projeto do chamado clima urbano ideal durante o processo de crescimento das cidades.

O estudo do clima urbano tem-se mostrado uma importante contribuição para que os aspectos relativos à qualidade ambiental sejam tratados de forma mais adequada no plano diretor. Tal estudo permite associações tanto com o planejamento das áreas livres, do qual são derivadas questões como o zoneamento, a preservação ambiental e a expansão urbana, etc., quanto das áreas construídas, que se relacionam ao uso e ocupação do solo e ao código de edificações, podendo contribuir para a criação de índices urbanísticos mais adequados em termos da orientação solar, insolação e iluminação natural e ventilação.

5. Resultados

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, podendo-se observar que, dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície.

Neste sentido, as bandas 3 (vermelho) e 4 (infra-vermelho), ambas com 30m de resolução espacial, do TM/Landsat-5, foram utilizadas para gerar o índice de vegetação ou NDVI. Nestas imagens (Figura 01), com processamento NDVI, os níveis de cinza mais claros (com níveis de cinza próximos a 255 em imagens de 8 bits) expressam valores que representam altos índices de vegetação, enquanto os níveis de cinza mais escuros representam baixos índices de vegetação com níveis de cinza próximo a zero. Os valores baixos correspondem a alvos de áreas urbanas como área construída, ou solo exposto e água. Este índice consiste em uma equação (razão aritmética) que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo, como se segue:

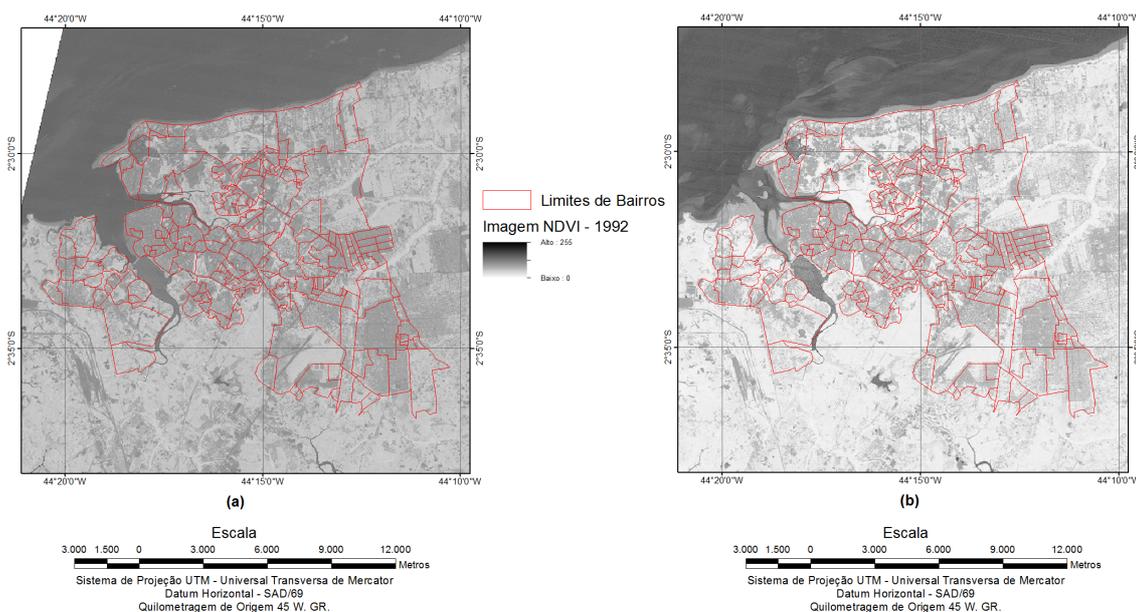
$$NDVI = IVP(banda4) - V(banda3) / IVP(banda4) + V(banda3) \quad (1)$$

Onde,

IVP: valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo

V: valor da reflectância da banda no vermelho

Figur021: Recorte espaço-temporal de imagens NDVI para os anos de 1992(a) e 2010(b), do espaço urbano de São Luís (MA)



A banda 6, do infravermelho termal, do sensor TM/Landsat-5, com resolução espacial de 120m, foi utilizada para medir o calor emitido, transformando-o em temperatura aparente de superfície. Para a obtenção desses valores torna-se necessário a aplicação de técnicas de correção dos efeitos de atenuação atmosférica sobre as medidas da temperatura aparente, sendo necessário a transformação do sinal digital proveniente do satélite em radiância ($w/m^2.sr.\mu m$) e, posterior, conversão em temperatura, como descrito pelas fórmulas a seguir (Camargo, 2003 *apud* LIMA e ANUNCIACÃO, 2009):

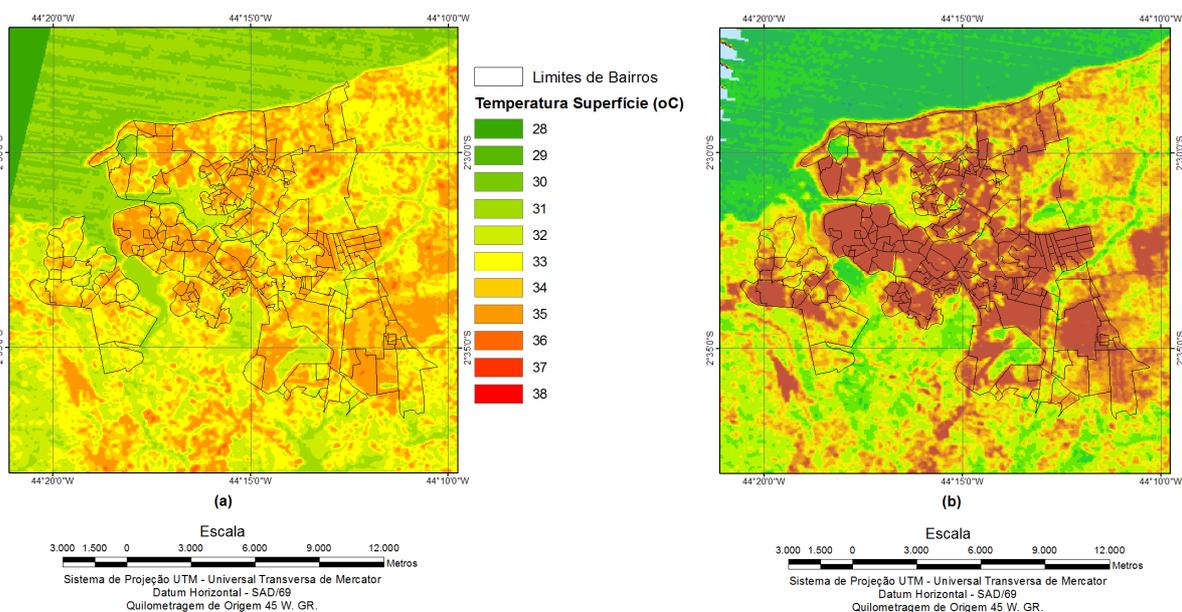
$$L = \{[(Lmax - Lmin) / (NCmax - NCmin)] * (NC - NCmin)\} + Lmin \quad (1)$$

$$Temp (^{\circ}C) = \{(K1) / \ln [K2 / L] + 1\} - 273.15 \quad (2)$$

De acordo com Camargo (2003) *apud* Lima e Anunciação (2009), *Lmax* e *Lmin* representam o valor de máxima e mínima radiância, respectivamente, escalonados pelo sensor (encontrado geralmente no arquivo descritor das imagens), *NCmax* representa o nível de cinza máximo, *NCmin* representa o nível de cinza mínimo, *NC* representa o nível de cinza de cada *pixel* da imagem, *K1* e *K2* são constantes de calibração para a banda do infravermelho termal (10,4 – 12,5 μm)

Este mapeamento da temperatura de superfície de ambos os dias resultou nas imagens representada na Figura 02 (a e b). Pela análise visual da imagem de 1992, observa-se uma predominância de temperaturas mais altas na zona de maior adensamento urbano e com reduzida cobertura vegetal.

Figura 03: Recorte espaço-temporal com valores de temperatura de superfície (oC) para os anos de 1992(a) e 2010(b), do espaço urbano de São Luís (MA)



Na análise comparativa da **Figura 02(b)** referente a imagem termal das temperaturas para os anos de 1992 e 2010, verifica-se que houve um predomínio em quase toda área da cor vermelha representada pelas temperaturas superiores a **37°C**. Pressupõe-se que esse aumento está associado há pelo menos dois fatores: expansão das edificações/diminuição de áreas verdes e sazonalidade da radiação solar.

As áreas que se destacaram com as maiores temperaturas podendo ser consideradas como ilhas de calor, foram as que apresentaram estruturas com telhas de cimento, amianto e asfalto. Materiais estes que, segundo Lombardo (1985), são responsáveis pela formação da maioria das ilhas de calor das cidades considerando que estes materiais possuem alta refletância, o que aumenta significativamente o processo de irradiação de calor para a atmosfera, colaborando, portanto, para uma interferência direta no balanço de energia resultando num reflexo imediato na temperatura da superfície.

6. Conclusão

O planejamento das cidades deveria considerar as condições climáticas intra-urbanas resultantes da interação da natureza e da sociedade (conformação do relevo, massas de vegetação, estrutura urbana, circulação de ar, entre outras). O conhecimento das condições climáticas em localidades diferenciadas na cidade pode contribuir para a melhoria das condições de conforto humano dentro e fora das edificações e, portanto, da qualidade de vida urbana em um prazo relativamente curto e de forma duradoura.

O crescimento da malha urbana de São Luís em poucos mais de 50 anos, ocupando espaços de forma pouco ou nada organizada, apesar das diretrizes estabelecidas no zoneamento e no Plano Diretor municipal, resultaram numa massa impermeabilizada, que suprimiu a vegetação natural, modificou a morfologia de terrenos, aterrou córregos, rios e áreas de recargas aquíferas, possibilitando alterações no padrão de ventilação, redução dos níveis de umidade do ar e a formação de ilhas de calor em várias partes da área urbana.

O aumento expressivo da temperatura da área de estudo, a exemplo de áreas que em 1992 apresentavam temperatura de superfície em torno de 35°C passaram a apresentar cerca de 37°C em 2010, o que permite inferir que tem ocorrido a retirada da cobertura vegetal, com a conseqüente exposição do solo e/ou a substituição por uma superfície impermeabilizada, decorrente principalmente do crescimento da área construída por diversos empreendimentos imobiliários, que aumentaram significativamente, e, também, do surgimento e/ou ampliação de áreas de ocupação irregular. As mudanças nas temperaturas ocorridas no período 1992 e 2010 na área urbana de São Luis têm contribuído, de forma direta, para a intensificação do fenômeno de ilha de calor, em especial nas áreas onde os ambientes construídos são mais intensos e a cobertura vegetal é menos presente.

Em contrapartida, a diminuição da temperatura em algumas áreas pode estar associada às diferenças de condições meteorológicas durante a aquisição das imagens nas diferentes datas selecionadas para este estudo.

A despeito do sensor não apresentar a temperatura do ar, mas temperatura aparente da superfície foi possível inferir sobre as áreas que tiveram redução ou aumento de temperatura, associando essas às mudanças de usos do solo e aos tipos de cobertura vegetal. Também há de se considerar que as diferenças de datas das imagens processadas implicam em uma maior necessidade de realização de correções atmosféricas tendo em vista que diferentes fenômenos meteorológicos pudessem estar atuando durante o registro dos dados pelo sensor orbital.

Os estudos que abordam as causas e conseqüências da urbanização para o clima urbano, podem dar subsídios para o planejamento das cidades, para que estas não cresçam desordenadamente e sua população não venha a sofrer com o desconforto térmico causado pela falta de planejamento da infraestrutura da cidade. Assim surge o chamado clima urbano, que está diretamente relacionado à saúde e o bem-estar humano, através dos diferentes elementos atmosféricos como a temperatura do ar, a temperatura radiativa, a umidade atmosférica e o vento, designados em conjunto por complexo térmico e ao uso do solo urbano em suas várias formas de manejo.

Assim, às cidades enquanto palco principal das relações humanas, das atividades econômicas que nela se desenvolvem e, conseqüentemente, das principais perturbações antrópicas induzidas no suporte biogeofísico caberá o papel de protagonista não somente na criação de medidas de adaptação que contribuam para a minimização das vulnerabilidades percebidas, como também na definição de medidas de mitigação que possam conter os efeitos nefastos gerados.

Referências

- ALCOFORADO, Maria João, ANDRADE, Henrique. Clima e saúde na cidade: implicações para o ordenamento. In: SANTANA, Paula (coord.). **A cidade e a saúde**. Coimbra: Almedina, 2007. p. 97-118.
- ASSIS, Eleonora Sad de. Métodos preditivos da climatologia como subsídio ao planejamento urbano: aplicação ao conforto térmico. In: **Terra Livre**, São Paulo: AGB, v. 1, n. 20, jan.jul. 2003.
- DANNI-OLIVEIRA, I.M. Aspectos Climáticos de Curitiba-PR: uma contribuição para o ensino médio. In: **RA'EGA**, Curitiba, n. 03, p. 229-253, 1999.
- FLORENZANO, Teresa G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2002
- GOMES, P. S. **Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos: o caso de Montes Claros, MG**. 2008. 212 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- IBGE. **Censos Demográficos**. 1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 2000, 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em 15 mar. 2011.
- INCID. Instituto da Cidade, Pesquisa e Planejamento Urbano e Rural. **Mapa de Evolução Urbana de São Luís**. Prefeitura Municipal de São Luís: CD-ROM, São Luís, 2010.

- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Science of Climate Chang. – The Scientific Basis – **Contribution of Working Group 1 to the IPCC**, The assessment report, Cambridge University, 2001.
- KATZSCHNER, L. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: FAU-UFBA/LACAM, ANTAC, 1997. p.49-58.
- LIMA, R. C., ANUNCIACÃO, V. S. da. **Estudos da formação de ilhas de calor na cidade de Campo Grande/MS, utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa-MG, 2009.
- MARTINS, M.C. et al. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v. 58, n. 1, p. 41-46, 2004.
- MCMICHAEL, A.J. Global climate change and health: an old story writ large, p 1-17. In: MCMICHAEL, A.J. et al. (eds). **Climate change and human health: risks and responses**. Genebra: WHO, 2003
- MENDONÇA, F.A. **O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequeno-proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR..** Tese. (Doutorado em Geografia), USP, 300p. 1994.