



O USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA MAPEAMENTO DE ZONAS DE (DES)CONFORTO TÉRMICO NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE SÃO LUÍS (MA)

Ronaldo Rodrigues Araújo¹
Mauricio Eduardo Salgado Rangel²

Tipo do trabalho: Iniciação Científica

A interação entre a estrutura urbana da cidade, as variações no ritmo climático e as condições socioambientais da população, produzem, na grande maioria, efeitos negativos para a qualidade de vida da população urbana. 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 que trazem consigo um grande impacto no clima urbano como o desconforto térmico, agravado pela impermeabilização do solo e a redução de áreas vegetadas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho, é identificar através do uso de técnicas de sensoriamento remoto, as áreas que mais comprometem o conforto térmico 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 do solo, prejudicando o conforto térmico da população.

Palavras-Chave: Conforto térmico; Sensoriamento remoto; Análise espacial; Uso do solo urbano; São Luís (MA).

1. Introdução

A influência que a atmosfera exerce sobre os seres humanos deve ser entendida como um dos aspectos determinantes para os trabalhos que envolvem a climatologia e o planejamento, em especial os das áreas urbanas, considerando que, nas cidades, as diversas atividades desempenhadas (trabalho, lazer, práticas esportivas, entre outras), correlacionam-se notadamente às condições de conforto térmico, que apresentam diversos benefícios e/ou malefícios a saúde da população urbana em seus diferentes grupos etários, mas, atuando principalmente, sobre crianças e idosos.

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

¹ Professor do Departamento de Geociências (DEGEO/UFMA). Doutorando em Geografia/PPGG/FCT-UNESP-Campus de Presidente Prudente. ronaldo.rodrigues16@terra.com.br

² Professor do Departamento de Geociências (DEGEO/UFMA). Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO/DEGEO/UFMA). Universidade Federal Maranhão. mauricio.rangel@ufma.br



da cidade, contribuindo para que a população sofra ainda mais com essas mudanças.

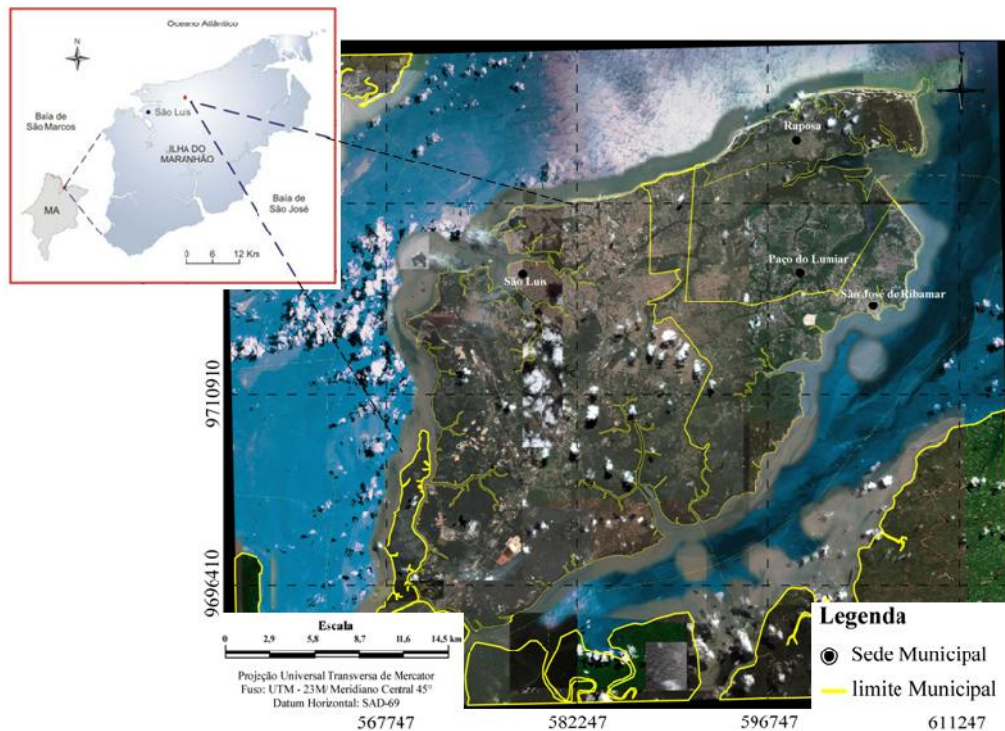
Os estudos que abordam as causas e conseqüências da urbanização para o clima urbano podem dar subsídios para o planejamento das cidades, para que estas não cresçam desordenadamente e sua população não venha a sofrer com o desconforto térmico causado pela falta de planejamento da infra-estrutura da cidade. 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.

Entende-se, também, que as condições sociais como situação de moradia, alimentação, infra-estrutura urbana e acesso aos serviços de saúde são fatores que aumentam a vulnerabilidade de populações expostas aos episódios das mudanças climáticas, que, somados a exposição a poluentes atmosféricos poderá apresentar efeitos sinérgicos com agravamento de quadros clínicos.

Neste contexto, objetiva-se, neste trabalho, identificar as áreas de maior mudança no padrão de uso do solo urbano, as quais comprometem 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).

Figura 01 – Localização e situação geográfica do município de São Luís, Estado do Maranhão

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. Conforto térmico e Saúde

A variação de respostas humanas relacionadas às mudanças climáticas parece estar diretamente associada às questões de vulnerabilidade individual e coletiva. Variáveis como idade, perfil de saúde, resiliência fisiológica e condições sociais contribuem diretamente para as respostas humanas relacionadas às variáveis climáticas (MARTINS *et al*, 2004). Outros estudos também apontam que alguns fatores que aumentam a vulnerabilidade dos problemas climáticos são uma combinação de crescimento populacional, pobreza e degradação ambiental (IPCC, 2001; McMICHAEL, 2003).

A forma de organização espacial da população favorece, portanto, a existência de condições ou situações de risco que influenciam na saúde pública e na potencialização de determinadas enfermidades. Dessa forma, a manifestação das enfermidades pode ser determinada por diversos fatores, tais como os ambientais, os sociais e os culturais que atuam no espaço e no tempo sobre as populações sob risco.

Dessa forma, percebe-se que a área urbanizada ao produzir mudanças nas características da paisagem natural altera os padrões do balanço energético local causando mudanças nos elementos do clima.

Nas cidades, onde as superfícies têm mais capacidade térmica e o grau de impermeabilização é muito maior, ao contrário, a maior parte do fluxo térmico é de calor sensível – que, por sua natureza, é causa de desconforto térmico humano (estresse bioclimático). As estruturas urbanas favorecem ainda o estoque de calor, aumentando a importância desse termo ao sistema, pois, durante a noite, a intensidade da perda térmica é função da quantidade de calor armazenado e disponibilizado na superfície. (ASSIS, 2003, p.146)

Apesar dos efeitos do clima na saúde humana sejam conhecidos desde os primórdios da revolução industrial, só recentemente os estudos de bioclimatologia humana adquiriram caráter científico, incluindo diversos estudos sobre morbidade e mortalidade, devidas a situações meteorológicas extremas, particularmente as ondas de calor ou na formação das chamadas ilhas de calor

Os estudos sobre conforto térmico tem se mostrado um tema importante nas últimas décadas, que buscam melhor compreender seu efeito sobre o homem, principalmente em relação à sua saúde e ao seu bem-estar físico e mental.



As condições de conforto térmico são função, portanto, de uma série de variáveis que, para ser considerado na avaliação, o homem deve estar adequadamente vestido e sem problemas de saúde ou de aclimatação.

Essas variáveis podem ser agrupadas, segundo Pagnossin, Lemes e Buriol (2004) em:

- **Variáveis físicas ou ambientais**- Referem-se às variáveis de maior influência nas condições atmosféricas do ambiente. As variáveis meteorológicas que mais interferem no conforto térmico são a temperatura do ar, velocidade do ar, umidade do ar e temperatura média radiante.

- **Variáveis pessoais**- As mesmas têm grande influência nas condições de conforto dos indivíduos. Entre as variáveis que mais influenciam são: o tipo de atividade desempenhada pelo indivíduo (taxa metabólica) e a vestimenta.

- **Variáveis psicológicas** – Estão ligadas a percepção e preferências térmicas dos indivíduos no momento consultados. No entanto, podem variar de indivíduo para indivíduo, pois devem-se considerar simultaneamente outras variáveis como idade, sexo, vestimenta e atividade desempenhada pela pessoa.

Segundo Mendonça (1994) e Danni-Oliveira (1999) as características climáticas de uma cidade são influenciadas pelos equipamentos que ela possui, sendo sentida notadamente no comportamento espacial da temperatura. Dessa forma, nas áreas onde se concentram edifícios, trânsito de veículos, indústrias e pessoas, as temperaturas do ar tendem a ser mais elevadas do que nas áreas verdes e de baixa densidade de edificações e pessoas.

As modificações que o espaço urbano provoca nas diferentes variáveis meteorológicas com influência térmica sobre o organismo humano – temperatura do ar, velocidade do vento, umidade e radiação solar – tendem a agravar os efeitos das ondas de calor, assim como, a relação entre as mudanças na ventilação, a dispersão de poluentes atmosféricos e o aumento da temperatura podem comprometer a qualidade do ar.

Como se pode perceber, o espaço urbano coloca problemas ambientais particularmente graves aos seres humanos. As modificações climáticas, que aí ocorrem, contribuem de forma acentuada para esses problemas, sendo de esperar que afetem, de alguma forma, a saúde humana que deve sempre ser considerada numa perspectiva integrada e multifatorial (ALCOFORADO e ANDRADE, 2007)

Esta temática faz emergir uma série de questões, que convergem para reflexões acerca da urbanização (com as suas diversas espacialidades e distintas



articulações sócioespaciais) e para a qualidade de vida da população, delineada por um novo paradigma, em que, a saúde não é apenas assegurada pelo setor de saúde, mas, a saúde é produzida socialmente, relacionada a dimensões sociais, culturais, econômicas e políticas, que devem favorecer a criação de ambiente favoráveis a saúde dos cidadãos.

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:

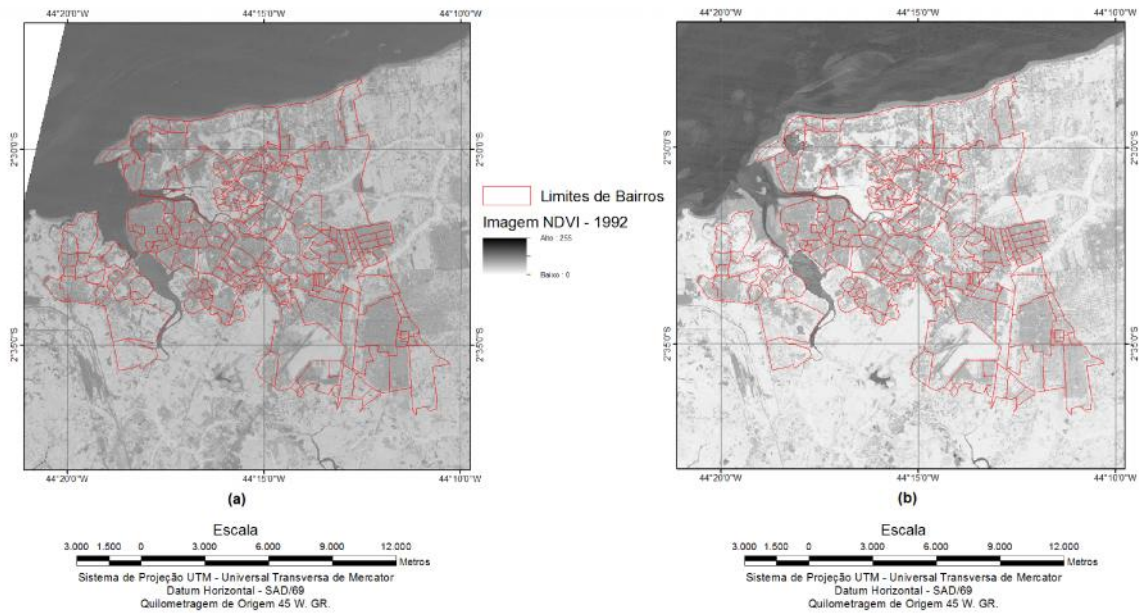
$$NDVI = IVP(banda4) - V(banda3) / IVP(banda4) + V(banda3) \quad (1)$$

Onde,

IVP: valor da reflectância da banda no Infravermelho próximo

V: valor de reflectância da banda no vermelho

Figura 02: 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 ($w/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$) e, posterior, conversão em temperatura, como descrito pelas fórmulas a seguir (Camargo, 2003 *apud* LIMA e ANUNCIAÇÃO, 2009):

$$L = \left\{ \left[\frac{L_{max} - L_{min}}{NC_{max} - NC_{min}} \right] * (NC - NC_{min}) \right\} + L_{min} \quad (1)$$

$$Temp (^{\circ}C) = \left\{ \frac{K1}{1n} \left[\frac{K2}{L} + 1 \right] - 273.15 \right\} \quad (2)$$

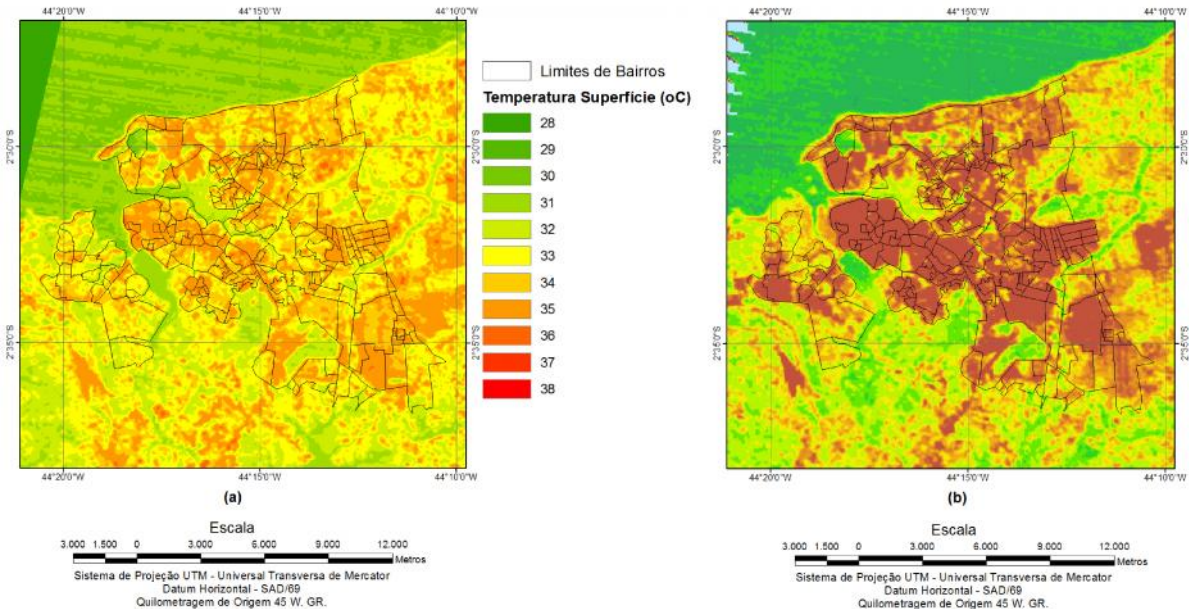
Onde (Camargo, 2003 *apud* LIMA e ANUNCIAÇÃO, 2009) define que,

L_{max} e L_{min} representam o valor de máxima e mínima radiância, respectivamente, escalonados pelo sensor (encontrado geralmente no arquivo descritor das imagens), NC_{max} representa o nível de cinza máximo, NC_{min} 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 aumento expressivo da temperatura da área de estudo, a exemplo de áreas que em 1994 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.

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

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Science of Climate Change. – The Scientific Basis – **Contribution of Working Group 1 to the IPCC**, The assessment report, Cambridge University, 2001.

LIMA, R. C., ANUNCIAÇÃO, 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**. Geneva: 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.

PAGNOSSIN, Elaine Medianeira, LEMES, Denise Peralta, BURIOL, Galileo Adeli. Influência dos elementos meteorológicos no conforto térmico humano: bases biofísicas. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. **Anais...** Aracajú (SE), 2004.