



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Ilha de Calor e a Influência no Conforto Térmico da Região Integrada de Desenvolvimento Da Grande Teresina (Ride)

Dimas de Barros Santiago¹, Dr. Heliofábio Barros Gomes², Luana dos Santos Ferreira³

¹Mestre em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, dimas.barros91@gmail.com. ²Prof. Doutor Adjunto 3, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, heliofabio@icat.ufal.br. ³Graduanda em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, Luaferreira0211@gmail.com.

Artigo recebido em 07/02/2018 e aceito em 14/12/2018

RESUMO

As ilhas de calor urbanas são efeitos onde a temperatura das áreas urbanas são maiores que as áreas próximas e áreas rurais, consequência da modificação e/ou substituição da vegetação por áreas sem vegetação ou áreas asfálticas, modificando o clima ambiente e o conforto térmico humano local, assim o objetivo do trabalho visou observar o fenômeno Ilhas de Calor Urbanas (ICU), em Teresina-PI e Timon-MA e a relação com conforto térmico da área de estudo, por meio do sensoriamento remoto termal e do Índice de conforto térmico humano, Temperatura Efetiva. Foram utilizadas seis imagens de satélites, quatro obtidas pelo satélite Landsat-5 TM, adquiridas no Catálogo de Imagens - DGI - INPE e duas obtidas do Landsat-8 no site da USGS. Dados horários, diários e mensais de umidade relativa do ar e temperatura média do ar, para os anos de estudo, cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o cálculo do Índice de Conforto Térmico Humano. Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos através da ferramenta Model Maker do programa ERDAS Imagine 9.2 e o Qgis 2.12.1. No estudo observou-se a diferença de temperatura entre a área das cidades de Teresina-PI e Timon-MA e as áreas sem urbanização (mais vegetada, sem modificação do solo), onde houve uma variação entre aproximadamente 6°C a 9°C, quando comparado áreas circunvizinhas e a cidade. Assim à medida que as cidades se desenvolvem e ocorre à modificação da superfície, as temperaturas aumentam, consequentemente aumenta o desconforto humano.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, Conforto Térmico; Ilhas de Calor; Teresina-PI.

Heat Island And The Influence In The Thermal Comfort Of The Integrated Region Of Development Of The Grande Teresina (Ride)

ABSTRACT

Urban heat islands are effects where the temperature of urban areas is greater than nearby areas and rural areas, as a consequence of the modification and / or substitution of vegetation by areas without vegetation or asphaltic areas, modifying the ambient climate and local human thermal comfort, so the objective of the study was to observe the phenomenon of urban heat islands (ICU) in Teresina-PI and Timon-MA and the relation with thermal comfort of the study area, through thermal remote sensing and the human thermal comfort index, Effective Temperature. Six satellite images were used, four obtained by the Landsat-5 TM satellite, acquired in the Image Catalog - DGI - INPE and two obtained from Landsat-8 on the USGS website. Time, daily and monthly data of relative humidity and mean air temperature, for the years of study, provided by the National Institute of Meteorology (INMET), for the calculation of the Human Thermal Comfort Index. For the image processing, models were developed using the Model Maker tool of ERDAS Imagine 9.2 and Qgis 2.12.1. In the study we observed the temperature difference between the Teresina-PI and Timon-MA cities area and the areas without urbanization (more vegetated, without soil modification), where there was a variation between approximately 6 ° C and 9 ° C, when compared to surrounding areas and the city. So as cities develop and occur to the surface modification, temperatures increase, consequently increases human discomfort.

Keywords: Remote Sensing; Thermal Comfort; Heat Islands; Teresina-PI.

Introdução

O grande crescimento urbano que tem desencadeado sérios problemas ambientais dos quais sofrem profundas alterações na sua superfície e nas suas formas horizontais e verticais, o que resulta em fontes adicionais de calor provenientes das atividades antropogênicas, com isso, há a alteração do clima local “clima urbano” como um importante reflexo do impacto o efeito chamado de ilhas de calor, um “oásis inverso”, onde o ar e as temperaturas da superfície são mais quentes do que em áreas rurais circundantes. No clima urbano é possível constatar diferenças nos elementos climáticos, conforme a influência da cobertura do solo, no que diz respeito à alteração no fluxo de matéria e energia sobre a atmosfera local.

A primeira documentação de calor urbano aconteceu em 1818, quando o estudo revolucionário sobre o clima de Londres realizado por Luke Howard detectou um “excesso de calor artificial” na cidade, em comparação com o campo (Howard, 1833).

A cidade caracteriza “uma contínua, cumulativa e acentuada ‘derivação antrópica’ do ambiente”, suficiente para implicar em uma “série de alterações sobre a atmosfera-até mesmo em sua própria composição química ‘sobre ela’ e até mesmo como ‘exportação’ para o ambiente circundante” (Monteiro, 2003). Quando falamos em conforto térmico urbano, estamos nos referindo ao clima urbano que, segundo Lombardo (1985: 22), se define como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. É um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofre, na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos”. Segundo Fanger (1970), o conforto térmico é uma condição da mente que expressa à satisfação do indivíduo com o ambiente térmico. Nesse sentido, o conforto térmico pode ser analisado como sendo as trocas térmicas que dependem de vários fatores, sejam eles ambientais e/ou pessoais, comandados por processos físicos.

Segundo Martin-Vide et. al (2015), a ilha de calor em pequenas cidades apresenta configuração espacial e temporal diferentes das grandes cidades. As intensidades e os padrões térmicos tendem a ser menores. Catuzzo (2013) avaliou a eficiência do telhado verde para a minimização das alterações no microclima urbano no centro da cidade de São Paulo, através da análise comparativa com medições de temperatura e

umidade relativa do ar para um telhado verde intensivo e outro de concreto, localizados na mesma quadra urbana. Estudos meteorológicos como os de Ferreira, Oliveira e Soares (2013) e Ferreira et al. (2012), apresentam um importante avanço no desenvolvimento metodológico na abordagem da problemática. Barros e Lombardo (2016) através de análise espacial testaram as variáveis, índice de área foliar, a temperatura da superfície e o uso do solo, além da classificação térmica da ilha de calor urbana. Verificou-se que os ambientes sem vegetação, principalmente nos espaços ocupados por atividades industriais, de comércio ou serviços, apresentaram forte intensidade do fenômeno, com diferenças de temperatura da superfície superiores a 8 °C. Assim, constataram a importância do arboreto urbano e de áreas verdes para amenizar as temperaturas da superfície dos espaços urbanos do município de São Paulo. Diante do exposto, o presente trabalho visou observar o fenômeno Ilhas de Calor Urbanas (ICU), em Teresina-PI e Timon-MA e a relação com conforto térmico da área de estudo, por meio do sensoriamento remoto termal e do Índice de conforto térmico humano, Temperatura Efetiva.

Materiais e Métodos

Área de estudo

Teresina-PI

O município de Teresina é capital e o município mais populoso do estado do Piauí. Tem um território de aproximadamente 1392,0 km². Localiza-se no Centro-Norte Piauiense a 353 km do litoral, sendo, portanto, a única capital da Região Nordeste que não se localiza as margens do Oceano Atlântico. Possuindo uma população de 844.245 habitantes segundo o senso demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O município está integrado junto à cidade maranhense de Timon, formando, assim, a Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina (RIDE), que aglomera cerca de 1.194.911 habitantes segundo o IBGE. Estende-se entre os paralelos com latitude de 5°5'20 sul e longitude de 42°48'07 oeste, localiza-se próximo à divisa com o Maranhão, a oeste do estado, em uma altitude de 72 metros, em média. A cidade é separada da cidade de Timon (Maranhão) pelo Rio Parnaíba (Bastos e Andrade Júnior, 2008).

Timon-MA

A cidade de Timon está localizada à margem esquerda do Rio Parnaíba, divisa com o estado do Piauí e fica a 426 km da capital São Luís, estando 69 m acima do nível do mar. A cidade possui área de 1.743,246 km² e densidade demográfica de 89,18 hab/km² (IBGE, 2013), Figura 3. A população estimada pelo IBGE é de 161.721 habitantes. Existe cerca de 40 balneários no município de Timon, um dos pontos fortes em relação ao turismo, pois possuem um forte potencial de atração. A culinária também é outro ponto forte. Timon é o quarto município em população do estado, superando Caxias, e o quinto em arrecadação de ICMS. Está inserido na Rede Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina (Ride) e tornou-se ponto estratégico para o desenvolvimento dessa região. A economia do município é voltada basicamente para os pequenos negócios e para a agricultura de subsistência (Ati, 2016).

Foram utilizadas duas imagens, quatro obtidas pelo satélite Landsat-5 TM, adquiridas no Catálogo de Imagens -DGI- INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) constam de sete bandas espectrais cada imagem do sensor TM do Landsat-5 e imagens do sensor OLI/TIRS do Landsat-8. As imagens correspondem à passagem do satélite no ponto 219, órbitas 63 e 64 nas datas: Landsat 5 (20 de junho de 2004, Landsat 8 (23 de julho de 2016). Foram obtidos dados horários, diários e mensais de umidade relativa do ar e temperatura média do ar, para os anos de estudo, cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), das cidades de Teresina-PI e Timon-MA e convertido em valores médios, utilizando a média aritmética, para o cálculo do Índice de Conforto Térmico Humano. Para criação dos mapas de interpolação, foram necessários coleta de dados, os dados são baseados em pontos aleatórios com latitude e longitudes, como mostra a Tabela 1.

Pontos	Latitude	Longitude	Pontos	Latitude	Longitude
P1	5° 31' 15.72" S	42° 55' 45.12" W	P10	5° 06' 57.05" S	42° 56' 52.42" W
P2	5° 26' 50.83" S	42° 55' 22.01" W	P11	5° 06' 41.26" S	42° 50' 04.31" W
P3	5° 25' 42.05" S	42° 48' 53.10" W	P12	5° 06' 20.94" S	42° 44' 57.08" W
P4	5° 20' 36.50" S	43° 01' 33.18" W	P13	5° 00' 52.75" S	42° 41' 02.99" W
P5	5° 20' 34.75" S	42° 52' 49.57" W	P14	5° 00' 20.88" S	42° 49' 55.97" W
P6	5° 18' 33.22" S	42° 47' 18.57" W	P15	4° 59' 58.18" S	42° 57' 03.34" W
P7	5° 14' 21.93" S	42° 42' 55.33" W	P16	4° 55' 56.05" S	42° 49' 47.24" W
P8	5° 13' 31.31" S	42° 54' 03.05" W	P17	4° 55' 40.41" S	42° 43' 47.28" W
P9	5° 11' 42.88" S	43° 06' 13.44" W	P18	4° 51' 11.61" S	42° 47' 48.16" W

Tabela 1 - Pontos selecionados para estudo.

As sete bandas de cada uma das imagens foram empilhadas e depois recortadas, através do software Qgis 2.14, que resultou em um recorte irregular referente à área de estudo.

Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos através da ferramenta Model Maker do programa ERDAS Imagine 9.2 e

o Qgis 2.14, tendo imagens necessárias para a obtenção da temperatura na superfície terrestre, que servirá como base para a identificação das ilhas de calor. Foi feito a união das cidades de Teresina-PI e Timon-MA para a área de estudo, totalizando 3135,2 Km², como visto na Figura 1.

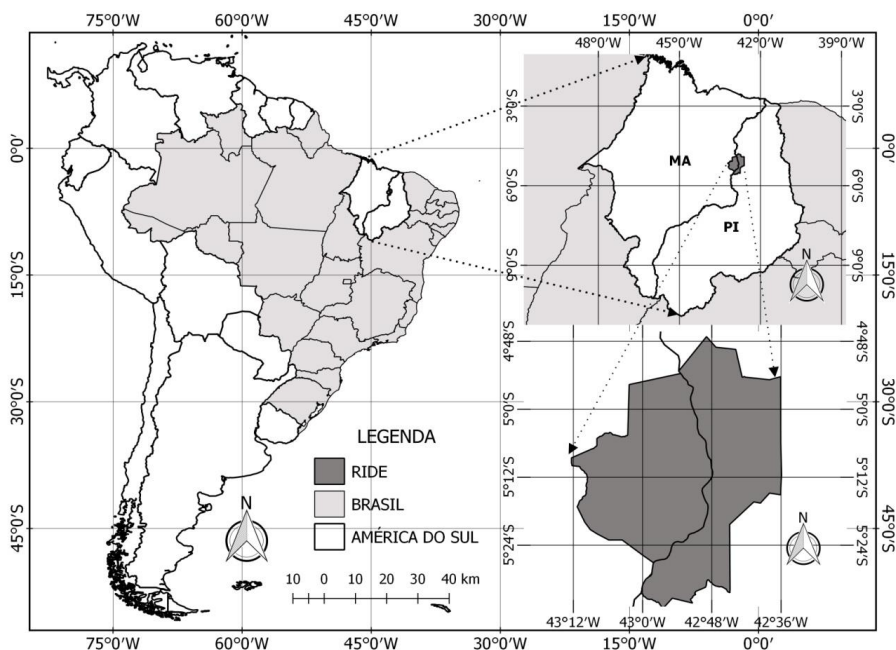


Figura 1. Posição geográfica da área de estudo.

As etapas de processamento das imagens estão descritas no fluxograma da (Figura 2). Nas etapas de processamento são aplicadas operações para o cálculo da radiância espectral, reflectância

espectral, índices de vegetação, albedo da superfície, temperatura da superfície, realizadas no software ERDAS Imagine 9.2.

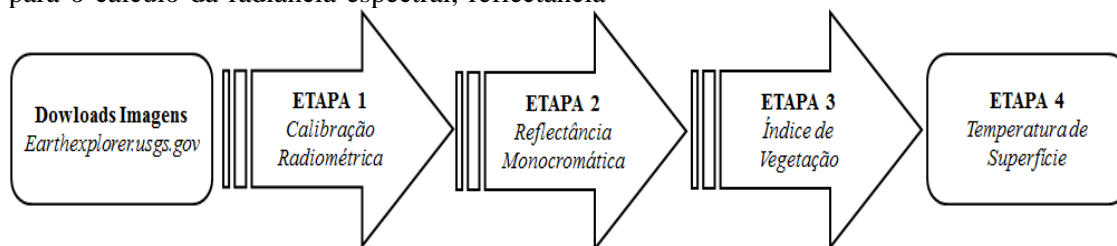


Figura 2. Fluxograma das etapas do processamento da temperatura de superfície.

Calibração Radiométrica – Etapa 1

Para obtenção da Calibração Radiométrica, em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática. Essas radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat (705 km), para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda 6, essa radiância representa a energia

emitida por cada pixel segundo a equação 1 de Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$, Tabela 2); ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde as bandas (1, 2, ... e 7) do satélite Landsat 5 - TM.

Tabela 2. Descrição das bandas do sensor TM, apresentando os coeficientes de calibração (Lmin e Lmax) e irradiancias espectrais no topo da atmosfera (após 4 de maio de 2003).

Bandas espectrais	Comprimento de onda			
	μm	Lmin	Lmax	$K\lambda i$
	Após 04/05/2003			

1 (Azul)	0,45-0,52	-1,52	193	1957
2 (Verde)	0,52-0,60	-2,84	365	1826
3 (Vermelho)	0,63-0,69	-1,17	264	1554
4 (IV-Próximo)	0,76-0,90	-1,51	221	1036
5 (IV-Médio)	1,55-1,75	0,37	30,2	215
6 (IV-Termal)	10,4-12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-Distante)	2,08-2,35	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Allen (2007a).

Reflectância Monocromática – Etapa 2

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 segundo a equação 2 (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

Onde L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, k_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$, Tabela 4), Z é o ângulo zenital solar e d_r é a razão entre a distância média Terra-Sol (r_o) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DJ), que de acordo com Iqbal (1983), é dada por:

Dr. =

$$\left(\frac{r_o}{r}\right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,001280 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2\Gamma + 0,000077 \sin 2\Gamma \quad (3)$$

Onde: $\Gamma = 360(DJ-1)/365$

DJ: é o dia Juliano (contagem sucessiva de dias a partir do dia 1° de janeiro de cada ano).

Albedo da Superfície – Etapa 4

Na Etapa 4 obtém-se o cômputo do albedo da superfície ou albedo corrigido para os efeitos atmosféricos α_s , pela equação 4:

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

Onde α_{toa} é o albedo planetário, α_p é a da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL é recomendado o uso do valor de 0,03, com base em Bastiaanssen (2000) e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que para condições de céu claro, pode ser obtida por (Allen et al., 2002):

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

Onde z é a altitude de cada pixel (m). Utilizado z = Referente à altitude de cada pixel, calculada através da média aritmética de todos os bairros de Maceió-Al, medindo a altitude de cada bairro com auxílio do Google Earth.

Índice de Vegetação: IVDN– Etapa 5

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) pela soma das mesmas (Allen et al., 2002):

$$IVDN = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (4)$$

Onde ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do Landsat 5 – TM.

O IVDN é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1 e para superfícies com alguma vegetação o IVDN varia entre 0 e 1, já para a água e nuvens o IVDN geralmente é menor que zero.

Temperatura da Superfície – Etapa 6

Para a obtenção da temperatura da superfície (T_s) são utilizados a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade ϵ_{NB} obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície (K) pela equação 7:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (7)$$

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 5 -T (Allen et al., 2002).

Calibração Radiométrica – Landsat 8

Para as imagens do Landsat 8, a determinação da Calibração Radiométrica (L_b), de cada pixel e banda, os aditivos ($Add_{rad,b}$) e multiplicativos ($Multi_{rad,b}$) termos relativos à irradiação foram utilizados, também extraída dos metadados de cada imagem conforme mostrados na tabela 3, e (ND_b) Níveis de cinza, calculada de acordo com a:

$$L_b = Add_{rad,b} + Multi_{rad,b} ND_b \quad (8)$$

Tabela 3: Aditivos e Multiplicativos referentes aos dias 18 de Julho de 2014 e 23 de Julho de 2016.

Bandas	18/07/2014		23/07/2016	
	Multi _{rad,b}	Add _{rad,b}	Multi _{rad,b}	Add _{rad,b}
2	0.012449	-62.24613	0.012459	-62.29521
3	0,011472	-57.35928	0.012459	-57.40450
4	0,0096737	-48.36858	0.0096813	-48.40671
5	0,0059198	-29.59916	0.0059245	-29.62249
6	0,0014722	-7.36104	0.0014734	-7.36684
7	0,00049621	-2.48106	0.00049660	-2.48302
10	0,00033420	0,10000	0,00033420	0,10000

Fonte: Metadados, 2016.

metadados. Para o ano de 2014 ($d_{ES} = 1,0162552$) e 2016 ($d_{ES} = 1,0158549$).

Reflectância Monocromática Landsat 8– Etapa 2

Para o computo da reflectância no landsat 8, em cada uma das bandas foi obtida por Chander & Markham (2003):

$$r_b = \frac{(Add_{rad,b} + Multi_{rad,b} ND_b)}{\text{CosZ } d_r} \quad (7)$$

Onde: $Add_{ref,b}$ e $Multi_{rad,b}$ - Representam aditivos e multiplicativos termos de coeficiente de reflexão de cada banda, extraída a partir da metadados de cada imagem (group = radiometric_rescaling), conforme bem como o ângulo zenital Sun - Z; ND_b - intensidade de cada pixel e banda (valor entre 0 e 65365) ; b - índice que representa cada uma das seis bandas OLI ; d_r - corresponde à correção da excentricidade a órbita terrestre , dada por :

$$d_r = \left(\frac{1}{d_{ES}}\right)^2 \quad (8)$$

d_{ES} - distância Terra-Sol (unidade astronômica) no dia de cada imagem, também extraída dos

Interpolação

Os métodos de interpolação são baseados no conceito de dependência espacial, segundo o qual os valores tendem a ser mais semelhantes em locais próximos do que em locais separados por uma distância maior, até um limite em que a semelhança entre um par de pontos qualquer não é afetada pela distância. Existe a necessidade de se estimar valores de determinadas características em locais que não se tem informação. Esse processo é feito pelo uso de métodos de interpolação, que utilizam a informação dos lugares com dados e a distância de separação dos pontos para estimar o valor nos locais desconhecidos (Trevisan, 2014).

Conforto Térmico Humano

O conforto térmico, expressa o bem-estar do ser humano em função das condições do meio. Ele é influenciado principalmente pela temperatura do ar

e a umidade relativa, no qual o homem pode sentir nível de confortável de acordo com as variações climáticas. O homem é capaz de regular a sua temperatura através de processos metabólicos, onde ela fica em torno de 37°C, sendo o limite inferior 32°C e o superior 42°C para a sobrevivência (Frota; Shiffer, 2001). O índice utilizado foi a Temperatura Efetiva (TE), proposto por (Missenard 1937; citado em Suping et al.,1992):

$$TE = T - 0,4(T - 10) \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (9)$$

Onde, T é a temperatura do ar em °C e UR a umidade relativa em %.

Hentschel (1986); citado em Suping et al.,(1992), aponta a temperatura efetiva como o indicador mais adequado para ambientes externos, em condições de calor, e estabelece que valores de TE entre 12 °C e 24 °C estão associados a sensação confortável, conforme a Tabela 4, para pessoas exercendo atividades de recreação, turismo e da vida cotidiana.

Tabela 4: Classificação das condições de conforto térmico humano pela temperatura efetiva.

TE (°C)	Sensação Térmica Humana
> 30	<i>Calor Extremo</i>
24 a 30	<i>Calor Moderado</i>
18 a 24	<i>Agradável- Levemente Quente</i>
12 a 18	<i>Agradável- Levemente Fresco</i>
0 a 12	<i>Fresco</i>
- 12 a 0	<i>Frio</i>
< - 12	<i>Frio Extremo</i>

Fonte: Hentschel (1986; citado em SUPING et al.,1992)

Resultados e discussão

Quando se comparou as temperaturas de superfície entre os anos de 2004 e 2016, notou-se o grande aumento das temperaturas com o passar dos anos. O ano de 2004, figura 3A, mostrou valores máximos próximos de 27 °C com tonalidade em vermelho e valores mínimos próximos de 21 °C, tonalidade de azul-escuro, já o ano de 2016, figura 3B, os valores máximos foram próximos de 40 °C, tonalidade de vermelho e os valores mínimos próximos de 30 °C, tonalidade azul-escuro. A diferença foi de um aumento nas temperaturas máximas de superfície, aproximadamente de 13 °C ao longo de 12 anos, e de 9°C na temperatura mínima, (Santiago & Gomes, 2016) encontrou uma variação de 10°C ao longo de oito anos na cidade de Maceió-AL. Isso se dá a tendências no aumento térmico ao longo dos anos, pois, como nas cidades, o seu crescimento eleva a densidade de

construções, geralmente com materiais de grande absorção de calor, como altos edifícios, vidro e concreto, além de outros fatores como o elevado índice de asfaltamento, a falta de espaços livres para a circulação do ar, o uso intenso de energia elétrica e as descargas dos veículos automotores. As áreas inferiores e a área superior em destaque são áreas de baixa vegetação e solo nu.

As ilhas de calor urbanas são resultadas das modificações causadas pelo homem assim como dito por Viana (2006), onde esses ambientes são pensados de maneira a atender às necessidades humanas, e excluem da lista de prioridades a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida. Dessa forma, na busca de construir ou edificar um ambiente para si, o homem modifica o equilíbrio entre a superfície e a atmosfera. Assim gerando um “clima” próprio de cidades.

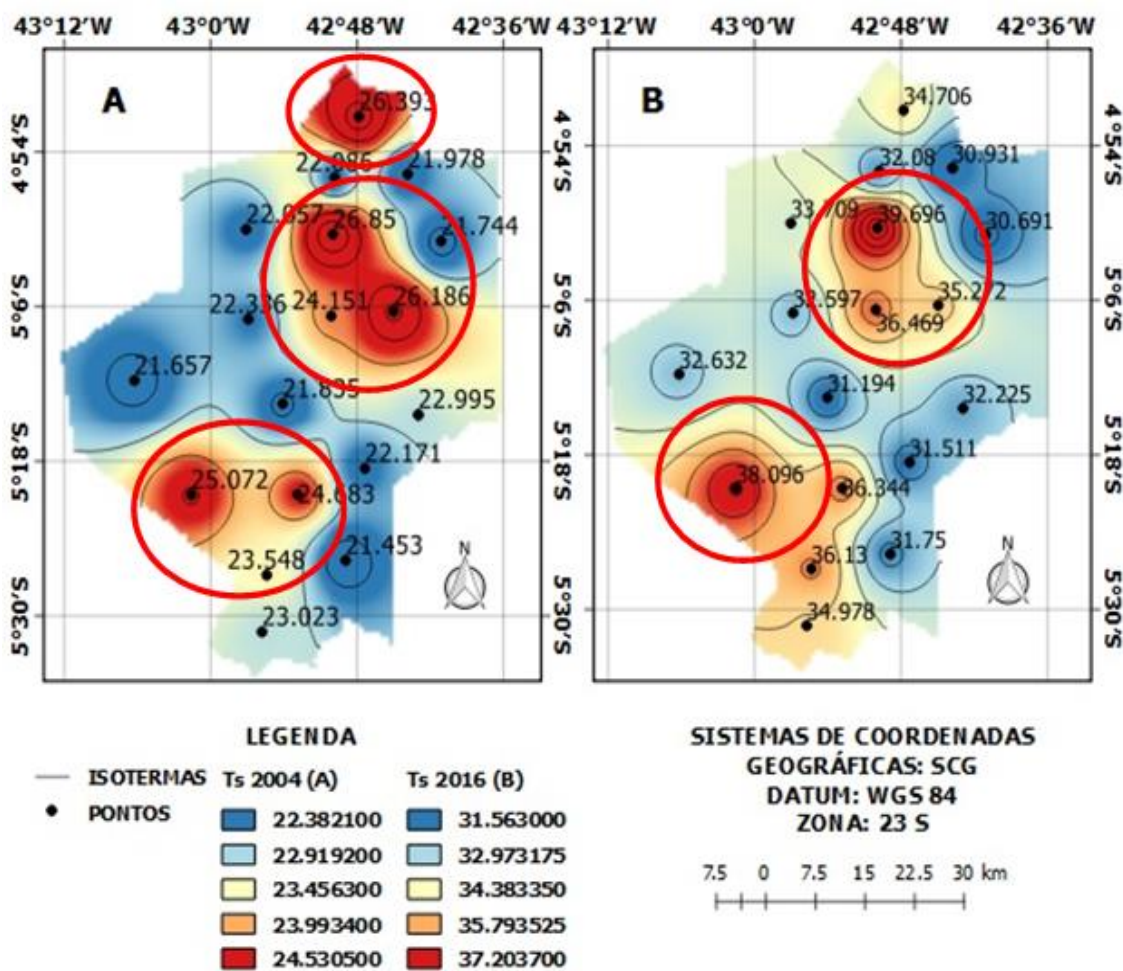


Figura 3. Comparação entre as temperaturas de superfície, para 2004 (A) e 2016 (B).

Em busca de construir ou edificar um ambiente para si, o homem modifica o equilíbrio entre a superfície e a atmosfera. Assim gerando um clima próprio de cidades. Na Figura 4 observou-se a comparação entre a forma de ocupação do solo. Figura 4B e a temperatura local. Figura 4A, onde se observou na que as variações de temperatura se deram à medida que se distanciava da área de cidades as temperaturas diminuem, entre a área de cidade (P14) e o ponto P13 houve uma variação de 9°C e entre a cidade (P14) e o P15 uma variação de 6°C. A figura 4B mostrou que os pontos P13 e P15 são áreas de vegetação ou áreas sem construções, já o ponto P14 área da cidade

Teresina-PI e Timon-MA. As ilhas de calor urbanas são resultados das modificações causadas pelo homem assim como dito por Viana (2006), onde esses ambientes são pensados de maneira a atender às necessidades humanas, e excluem da lista de prioridades a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida. Moreira (2007) encontrou amplitude térmica em torno de 8°C nas áreas onde o predomínio do concreto é mais acentuado. Estas áreas apresentaram temperaturas superiores a 28°C, enquanto que as áreas onde o elemento vegetação é mais intenso as temperaturas ficaram em torno de 22°C.

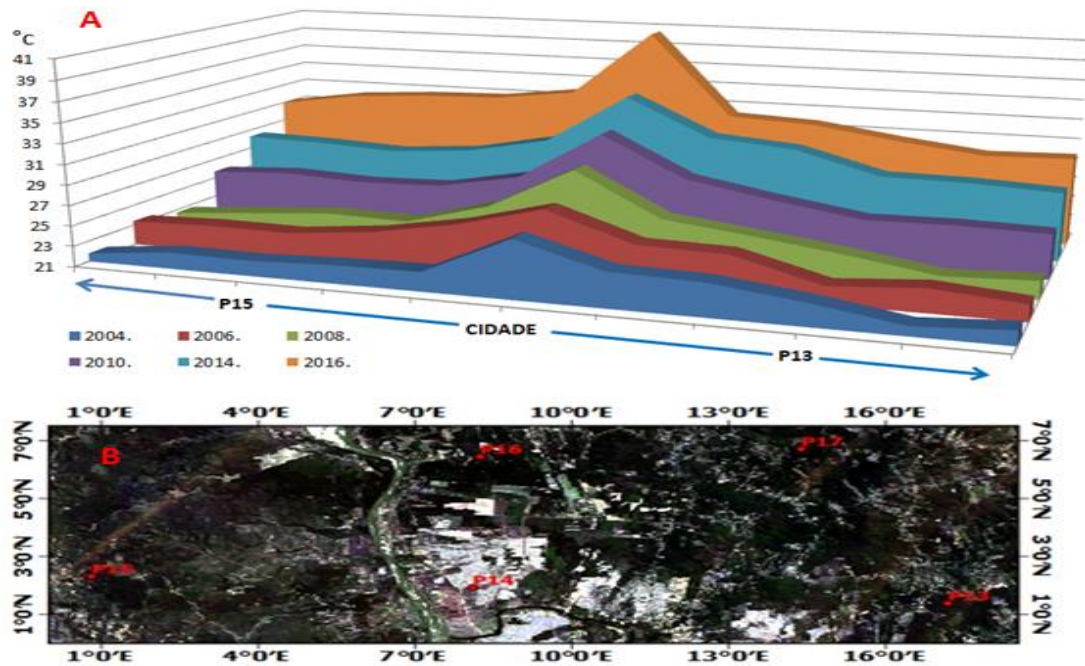


Figura 4. Comparação entre a temperatura de superfície (A) e a forma de ocupação do solo (B) para os anos de estudo.

Ao se comparar o mapa de IVDN com o mapa da distribuição da temperatura superficial, Figura 5A e 10B, observou-se que as Ts mais elevadas foram registradas em locais de densa urbanização, seguida pelas áreas de solo exposto. Os pontos P4, P11, P12 e P14, mostraram temperaturas próximas dos 38 °C, quando que no 5B, os mesmos pontos estão com valores de IVDN entre negativos (corpos d'água) e 0.16, ambos em tonalidade de vermelho, quanto que pontos como P8, P13 e P17 mostraram temperaturas próximas de 31 °C, tonalidades de azul-escuro e IVDN maiores que 0.5 com tonalidades em verde-escuro. O IVDN é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1, para superfícies com alguma vegetação o IVDN varia entre 0 e 1, já para a água e nuvens o IVDN geralmente é menor que zero, (Allen et al.,

2002). Assim o IVDN estabelece uma relação inversa, onde os maiores valores de IVDN, são densas vegetações com temperaturas menores, já que as vegetações absorvem parte da radiação para produção da fotossíntese e as maiores temperaturas de superfície foram encontradas nos menores valores de IVDN.

Diversos autores afirmam que transformações das superfícies dos solos são responsáveis por profundas mudanças no balanço de energia, causando, dentre outras consequências, influência na dinâmica do movimento do ar, aumento da temperatura nas cidades e o fenômeno da Ilha de Calor Urbana (ICU) (Ayoade, 2001; Sant'anna Neto, 2000; Lombardo, 1985; Carnaham & Larson, 1990; Kim & Baik, 2005).

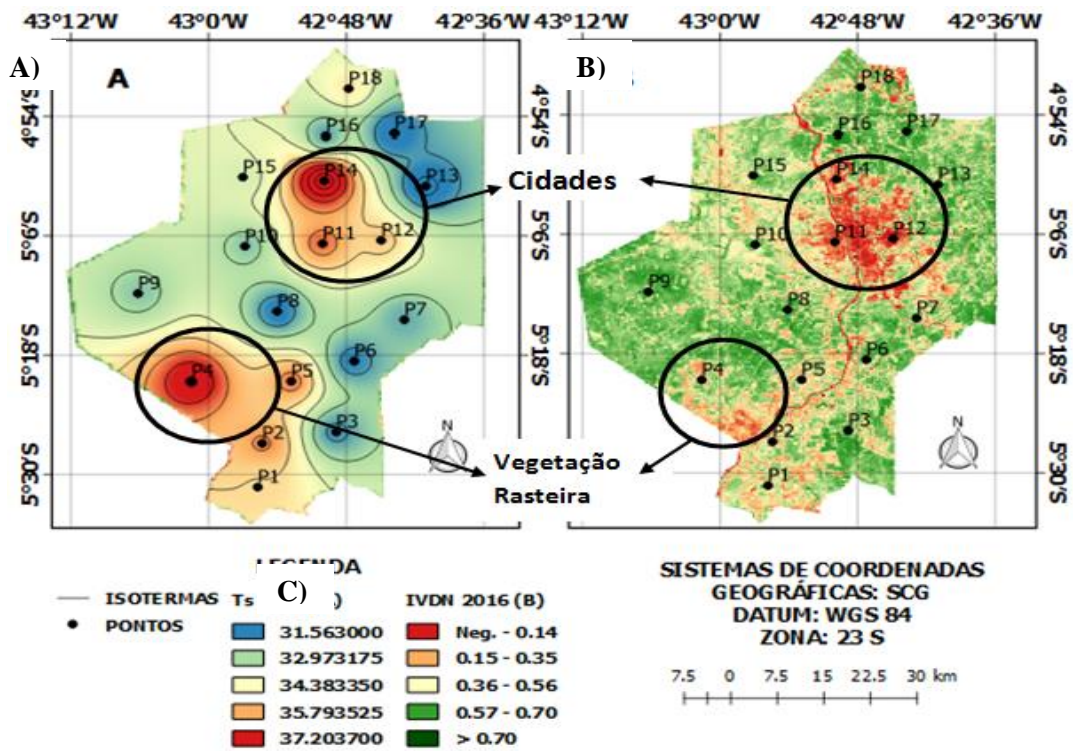


Figura 5. Comparação entre a distribuição da Temperatura de Superfície (A), e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) (B) para o ano de 2016.

Assim, os valores de 2016 quando comparados com 2004, mostraram que a crescente urbanização tendeu a uma diminuição da vegetação, à medida que as cidades se expandem, o aumento do desmatamento vai cedendo lugar às áreas construídas, também aumentando as áreas de solos expostos e as temperaturas aumentam como

visto na figura 6, IVDN's acima de 0,6 são considerados boa condição de vegetação. Nas áreas com maiores IVDN as temperaturas são baixas, nas áreas de solo nu e/ou urbanizada são encontrados valores maiores de temperaturas, já que são áreas com maior retenção de calor.

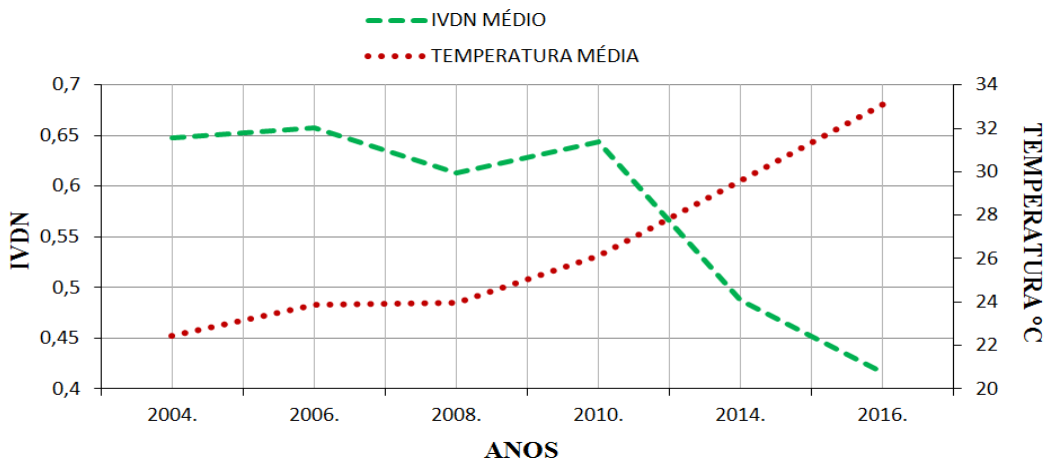


Figura 6. Comparação entre os valores médios de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) e a Temperatura Média de Superfície.

Os valores de temperatura mensal do ar, figura 7, mostraram aumento ao longo dos anos. Observando o comportamento da temperatura do ar, o destaque foi para o ano de 2016, linha laranja,

ficou notória a diferença das temperaturas para os sete primeiros meses, quando comparado com os outros anos. O retângulo mostra a variação nos meses de imagens utilizadas no trabalho. As

menores temperaturas foram variadas, os valores mínimos foram entre 31 e 32 °C, com exceção dos anos de 2010 e 2016, os mínimos foram maiores que 32°C, aumento próximo de 1,5°C na

temperatura mensal mínima. Os maiores valores foram encontrados entre os meses de setembro e novembro, com predominância de maiores valores no mês de outubro, valores maiores que 37°C.

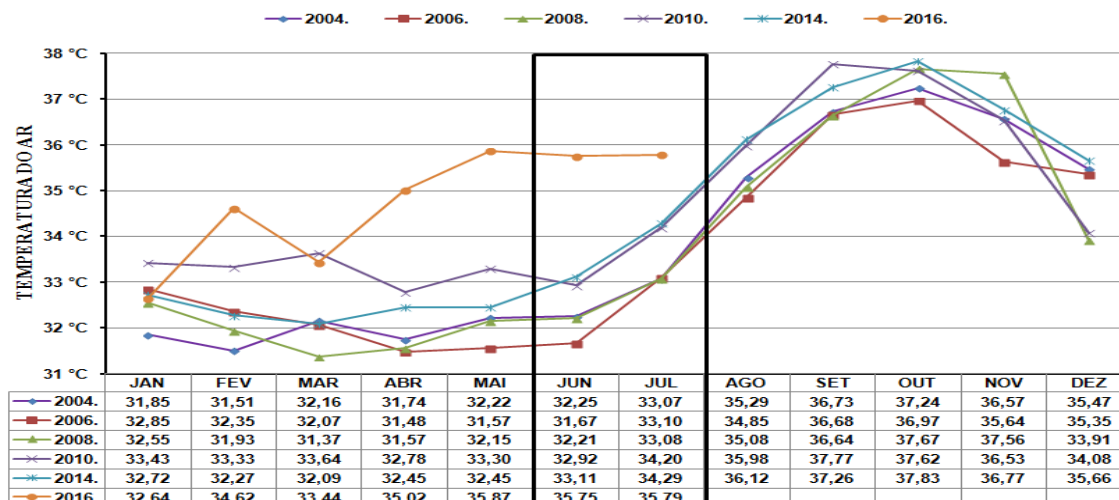


Figura 7. Comparação entre a temperatura mensal do ar, para os anos de estudo

Na figura 8 foi feita uma comparação das temperaturas efetivas (TE) diárias para o mês de julho, dos anos de 2004 e 2016. Ambos os anos se mantiveram na classe de (> 30°C – Calor Extremo). Com exceções dos dias 3, 6 e 31 onde a TE de 2016 foi menor que a de 2004, devido à alta umidade

relativa, os demais dias o ano de 2016 superou 2004, mostrando assim o aumento do desconforto térmico humano ao longo dos anos. No ano de 2004, os dias 4, 17, 27 e 29 ficaram na classe (24 a 30 – Calor Moderado), em 2016 não houve dias com TE menores que 30°C.

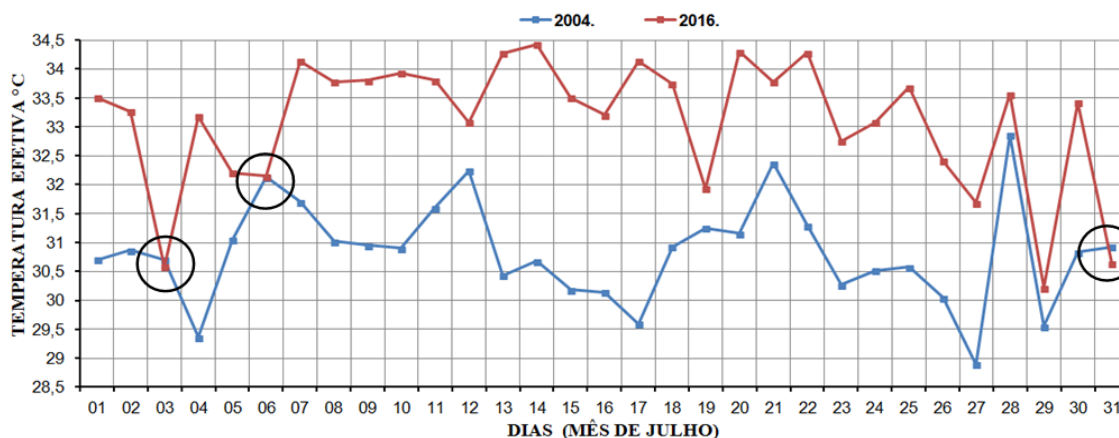


Figura 8. Comparação entre as temperaturas efetivas diárias, para o mês de Julho de 2004 e Julho de 2016.

Quando se refere às classificações dos índices de desconforto térmico humano os valores de referência são para uma noção de como a temperatura e a umidade podem influenciar na sensação de conforto térmico. Os índices expressam a sensação térmica sentida pela população, com base nos dados locais obtidos, podendo ocorrer sensações térmicas diferenciadas dependendo das variáveis individuais.

Os valores das temperaturas efetivas mensais figuram 9, mostraram os meses setembro

e outubro os maiores valores entre 31°C e 33,4 °C, os menores valores foram do mês de junho próximos dos 30 °C. Comparando entre os anos, os valores de TE aumentaram ao longo dos anos, intensificando os valores da classe de valores (> 30°C – Calor Extremo). A cidade sofre certos desconfortos durante o dia, principalmente porque os sistemas de ventos que chegam têm baixa velocidade, classificado como “brisa”.

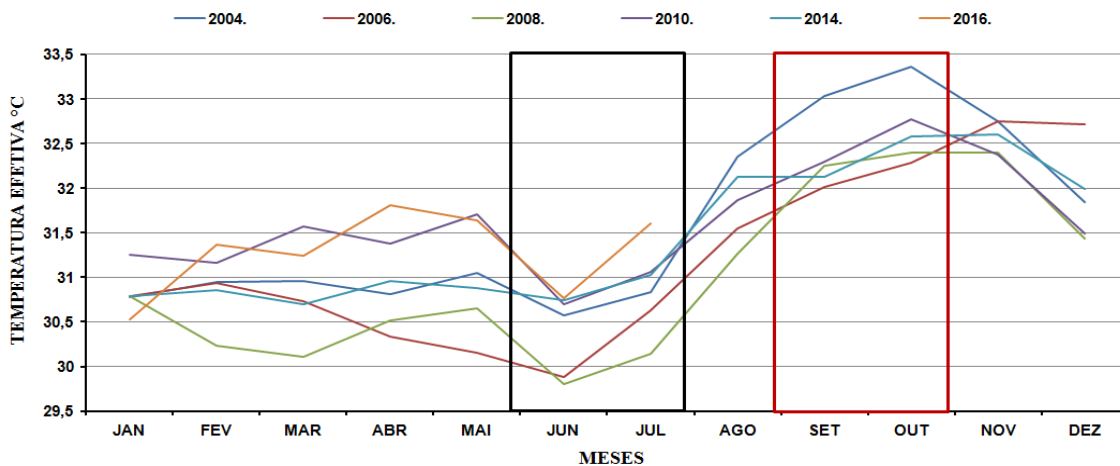


Figura 9. Comparação entre as temperaturas efetivas mensais, para os anos de estudo.

De um modo geral observou-se a variação de temperatura de superfície tanto temporal quanto intrazonal, ou seja, as variações entre os anos e as zonas (urbana e rural). As maiores temperaturas foram encontradas em locais com maiores densidades de edifícios com construções verticais, ou em áreas desmatadas, assim como foram destacados em alguns pontos no estudo. Visto que com o processo de evolução da urbanização e dos equipamentos utilizados para atender as necessidades antropogênicas e promovendo a redução das áreas verdes, está contribuindo no aumento da superfície de absorção térmica, e o crescimento das áreas impermeabilizadas, influenciando na elevação dos valores de temperatura, causando grandes desconfortos térmicos aos habitantes da zona urbana, como observado no índice de temperatura efetiva, devido à evolução ou formação de um efeito de ilha de calor, o qual é consequência de um crescimento desordenado da população e um mau planejamento sobre a ocupação do solo.

Conclusões

O fenômeno de ilhas de calor ocorre principalmente nas cidades devido o seu elevado grau de urbanização, as temperaturas das cidades são mais elevadas que as áreas rurais e as proximidades. A diferença de temperatura entre a área das cidades de Teresina-PI e Timon-MA e as áreas sem urbanização (mais vegetada, e/ou sem modificação do solo), onde houve uma variação entre aproximadamente 6°C a 9°C, quando comparado áreas circunvizinhas e a cidade.

As variações de temperatura de superfície mostraram que o aumento da temperatura de

superfície ao longo de 12 anos (2004-2016) foram de aproximadamente 13°C na máxima e de aproximadamente 9°C na temperatura mínima.

Comparando os mapas de IVDN e os mapas de temperatura de superfície, ficou nítido a relação inversa, nos anos de estudo as áreas onde se observou sem qualquer vegetação (solo nu) ou área construída (Cidades), foram encontradas as maiores temperaturas e os locais com maiores densidades de vegetação, as menores temperaturas.

Os índices de conforto térmico humano, temperatura efetiva, mostraram que quando comparado ao longo de 12 anos de estudo, houve a intensificação do desconforto térmico, no estudo classificado como “Calor Extremo”.

Analisou-se a relação entre as ilhas de calor e o conforto térmico humano, assim à medida que as cidades se desenvolvem e ocorre à modificação da superfície, as temperaturas aumentam, consequentemente aumenta o desconforto humano, visto que o ser humano sofre influência do meio em que vive.

Referências

- Allen, R.G. 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 97p.
- Ayoade, J. O. 2001. Introdução À Climatologia Para Os Trópicos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 332p.
- ATI, AGÊNCIA DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE TIMON. 2016. Disponível em: http://timon.ma.gov.br/site/?page_id=246. Acesso em: 25 de set. 2016.

- Barros, H. R.; Lombardo, M. A. 2016. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. *Geosp – Espaço e Tempo* (Online) 20, 160-177.
- Bastos, A. E.; Andrade Júnior, A. S. de. 2008. Boletim agrometeorológico de 2007 para o Município de Teresina, PI. Teresina: Embrapa Meio-Norte,
- Carnahan, W. H., Larson, R. C. 1990. An Analysis of an Urban Heat Sink. *Remote Sensing of Environment* 33, 65-71.
- Catuzzo, H. 2013. *Telhado verde: impacto positivo na temperatura e umidade do ar. O caso da cidade de São Paulo*. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Chander, Gyanesh; Markham, Brian. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41, 2674-2677.
- Fanger, P. O. 1970. *Thermal Comfort*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Ferreira, M. J.; Oliveira, A. P.; Soares, J. 2013. Diurnal variation in stored energy flux in São Paulo city, Brazil. *Urban Climate* 5, 36-51.
- Ferreira, M. J. Oliveira, Amauri P. Soares, Jacyra, Escobedo, J. F. 2012. Radiation balance at the surface in the city of São Paulo, Brazil: diurnal and seasonal variations. *Theoretical and Applied Climatology* 107, 229-246.
- Frota, Anésia Barros; Schiffer, Sueli Terezinha Ramos. 2001. *Manual de conforto térmico*. Studio Nobel.
- Hentschel, G. 1986. A human biometeorology classification of climate for large and local scales. *World Climate Programme Applications No.1*, World Meteorological Organization, p. 120-138.
- Howard, Luke. 1833. The climate of London: deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it. Harvey and Darton, J. and A. Arch, Longman, Hatchard, S. Highley [and] R. Hunter.
- Iqbal M. 1983. *An introduction to solar radiation*. Library of Congress Cataloging in Publication data. Academic Press Canadian, 390p.
- Kim, Y. H., Baik, J. J. 2005. Spatial And Temporal Structure Of Urban Heat Island In Seoul. *American Meteorological Society* 44, 591-605.
- Lombardo ,M.A. 1985. *Ilha de Calor nas Metrópoles: O exemplo de São Paulo*. São Paulo.
- Markham, B. L. and Barker, L. L. 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances, *Int. Journal of Remote Sensing* 8, 517-523.
- Martin-Vide, J.; Sarricolea, P.; Moreno-García, M. C. 2015. On the definition of urban heat island intensity: the “rural” reference. *Frontiers in Earth Science* 3, 1 – 6.
- Missenard, A. 1937. *L’homme et le climat*. Paris.
- Monteiro, C. A de F.; Mendonça, F.(Org.). 2003. *Clima Urbano*. São Paulo: Editora Contexto, 192p.
- Moreira, E.B. 2007. Especialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM – Landsat 7. *Revista de Geografia-UFPE* 24, 03.
- Sant’Anna Neto, J. L. 2000. Mudanças Climáticas Globais: Implicações no Desenvolvimento Econômico e na Dinâmica Natural. *Revista Pantaneira*, 2, 66-78.
- Santiago, D. B.; Gomes, H. B. 2016. Estudo de Ilhas de Calor no Município de Maceió/AL, por meio de Dados Orbitais do Landsat 5 (Heat Islands in the City of Maceió/AL using Orbital Data from Landsat 5). *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 793-803.
- Suping, Z.; Guanglin, M.; Yanwen, W.; Ji, L. 1992. Study of the relationship between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distande runners. *International Journal of Biometeorology* 36, 63-68,
- Trevisan, Rodrigo G.; Molin, José P. 2014. Sistemas de informação geográfica (sig) para agricultura de precisão. *Boletim de Precisão. Boletim Técnico* 01. Piracicaba-SP, Dezembro.
- Viana, S. S. M. 2006. *Caracterização do Clima Urbano em Teodoro Sampaio/SP*. 2006. 190f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.