



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**ILHA DE CALOR E A INFLUÊNCIA NO CONFORTO TÉRMICO DA REGIÃO  
INTEGRADA DE DESENVOLVIMENTO DA GRANDE TERESINA (RIDE).**

**DIMAS DE BARROS SANTIAGO**

**Maceió-AL  
Abril de 2017.**

**DIMAS DE BARROS SANTIAGO**

**ILHA DE CALOR E A INFLUÊNCIA NO CONFORTO TÉRMICO DA REGIÃO  
INTEGRADA DE DESENVOLVIMENTO DA GRANDE TERESINA (RIDE).**

Dissertação submetida ao colegiado do curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas- UFAL, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Heliofábio Barros Gomes

Maceió-AL  
Abril de 2017.

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**

Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

- S235i Santiago, Dimas de Barros.  
Ilha de calor e a influência no conforto térmico da região integrada de desenvolvimento da grande Teresina (RIDE) / Dimas de Barros Santiago. – 2017.  
54 f. : il. tabs. e gráfs.
- Orientador: Heliofábio Barros Gomes.  
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2017.
- Bibliografia: f. 46-53.
1. Meteorologia. 2. Sensoriamento remoto. 3. Ilhas de calor urbanas.  
4. Conforto térmico. 5. Teresina, PI. I. Título.
- CDU: 551.5 (812.2)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO**

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-144.

ILHA DE CALOR E A INFLUÊNCIA NO CONFORTO TÉRMICO DA  
REGIÃO INTEGRADA DE DESENVOLVIMENTO DA GRANDE TERESINA  
(RIDE).

*Dimas de Barros Santiago*

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dr. Heliofábio Barros Gomes  
(Orientador)

Prof. Dr. Helber Barros Gomes  
(Membro Interno)

Prof. Dr. Washington Luiz Félix Correia Filho  
(Membro Externo)

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva  
(Membro externo/UFRPE)

Abril/2017

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que nunca deixou de me guiar pelo caminho certo.

A Minha Mãe, que sempre me apoiou em todos os momentos.

Ao Meu Orientador, Professor Dr. Heliofábio Barros Gomes, que me possibilitou, ajudou e orientou em minha Dissertação de Mestrado.

Aos Meus Amigos, colegas, e Companheiros de Laboratório e do ICAT.

## 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. As imagens correspondem à passagem do satélite nos pontos 219, órbitas 63 e ponto 219, órbita 64 datas, Landsat 5: 20 de Junho de 2004, 10 de Junho de 2006, 01 de Julho de 2008, 01 de Julho de 2008. Landsat 8: 18 de Julho de 2014 e 23 de Julho de 2016. 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, tendo imagens necessárias para a obtenção da temperatura na superfície terrestre, que servirá como base para a identificação das ilhas de calor e o índice de temperatura efetiva, para observar o conforto das cidades em estudo. 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. Concluiu-se assim 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.

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

## ABSTRACT

The urban heat islands are effects where the temperature of the urban areas is greater than the surrounding areas and rural areas, as a result of the modification and/or substitution of the vegetation by areas without vegetation or asphaltic areas, modifying the ambient climate and the local human thermal comfort. The aim of the study was to observe the phenomenon of the Islands of Urban Heat (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 Landsat-5 TM satellite, acquired in the Catalog of Images - DGI - INPE and two obtained from Landsat-8 on the USGS website. The images correspond to the passage of the satellite at points 219, orbits 63 and point 219, orbit 64 dates, Landsat 5: 20 June 2004, 10 June 2006, 01 July 2008, 01 July 2008. Landsat 8: July 18, 2014 and July 23, 2016. Hourly, daily and monthly data of relative air humidity and average 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 the ERDAS Imagine 9.2 program and Qgis 2.12.1, having images necessary to obtain the temperature on the terrestrial surface, which will serve as the basis for the identification of the heat islands and the Effective temperature index, to observe the comfort of the cities under study. In the study, we observed the temperature difference between the Teresina-PI and Timon-MA cities and areas without urbanization (more vegetated, without soil modification), where there was a variation between approximately  $6^{\circ}\text{C}$  and  $9^{\circ}\text{C}$ , When compared surrounding areas and the city. The relationship between heat islands and human thermal comfort was thus concluded, as cities develop and occur at surface modification, temperatures increase, consequently human discomfort increases, since the human being is influenced by the In which he lives.

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

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação de uma Ilha de Calor Urbana.....	15
Figura 2: Posição geográfica da cidade de Teresina-PI.....	22
Figura 3: Posição geográfica da cidade de Timon-MA.....	23
Figura 4: Localização dos pontos de estudo.....	24
Figura 5: Posição geográfica da área de estudo. ....	25
Figura 6: Fluxograma das etapas do processamento da temperatura de superfície.....	25
Figura 7: Precipitações referentes aos meses de Junho/ Julho dos anos de estudo.....	33
Figura 8: Comparação entre as temperaturas de superfície, para 2004 (A) e 2016 (B).....	34
Figura 9: Comparação das temperaturas de superfície (A), para os anos de 2004, 2010 e 2016, para os pontos selecionados no estudo e sua forma de ocupação (B).....	35
Figura 10: Comparação entre a temperatura de superfície (A) e a forma de ocupação do solo (B) para os anos de estudo.....	36
Figura 11: Comparação entre a distribuição da Temperatura de Superfície (A), e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) (B) para o ano de 2016. ....	37
Figura 12: Frequências de valores dos Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para os anos de 2004 (A), 2006 (B), 2008 (C), 2010 (D), 2014 (E) e 2016 (F).....	39
Figura 13: Comparação entre os valores médios de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) e a Temperatura Média de Superfície.....	41
Figura 14: Comparação entre a temperatura do ar, temperatura de superfície e a temperatura efetiva, para os anos de estudo.....	42
Figura 15: Comparação entre a temperatura mensal do ar, para os anos de estudo.....	43
Figura 16: Comparação entre as temperaturas efetivas diárias, para o mês de Julho de 2004 e Julho de 2016.....	43
Figura 17: Comparação entre as temperaturas efetivas mensais, para os anos de estudo.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Datas das passagens do satélite.....	24
Tabela 2: Descrição das bandas do sensor TM, apresentando os coeficientes de calibração (Lmin e Lmáx) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera, (para imagens após 4 de maio de 2003).....	26
Tabela 3: Aditivos e Multiplicativos referentes aos dias 18 de Julho de 2014 e 23 de Julho de 2016.....	29
Tabela 4: Classificação das condições de conforto térmico humano pela temperatura efetiva.....	32
Tabela 5: Valores máximos, médios e mínimos de IVDN para os anos de estudo.....	38

## LISTA DE SIGLAS

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
DGI	Image Generation Division
DJ	Dia Juliano
DN	Número Digital
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICU	Ilha de Calor Urbana
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVAS	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
IVDN	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
LMAX	Limite Máximo
LMIN	Limite Mínimo
NEG	Negativos
NOAA	National Oceanic and Atmosphere Administration
OLI	Operational Land Imager
QGIS	Quantum Gis
RIDE	Região Integrada de Desenvolvimento
SEBAL	Surface Energy Balance Algorithm for Land
SR	Sensoriamento Remoto
TE	Temperatura Efetiva
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
Ts	Temperatura de Superfície
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
USGS	United States Geological Survey

## LISTA DE SÍMBOLOS

$L_{\lambda_i}$	Calibração Radiométrica.
Nd	Número Digital.
$k_{\lambda_i}$	Irradiância Solar Espectral De Cada Banda No Topo Da Atmosfera
$\rho_{\lambda_i}$	Reflectância Monocromática.
$\pi$	Pi.
$d_r$	Distância Terra
$r_o$	Distância Média Terra
$r$	Distância Terra
$\rho_{IV}$	Refletividade Do Infra Vermelho Próximo.
$\rho_V$	Refletividade Do Vermelho.
$\epsilon_{NB}$	Emissividade
$\epsilon_0$	Emissividade
$T_s$	Temperatura De Superfície.
Z	Altitude De Cada Pixel
Km <sup>2</sup>	Quilômetro Quadrado
Add <sub>Rad,B</sub>	Aditivos
Multi <sub>Rad,B</sub>	Multiplicativos
NDB	Níveis De Cinza
Zi	Ângulo Zenital Solar
Rb	Reflectância No Landsat 8
Des	Distância Terra

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVAS</b> .....	13
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	14
3.1	Geral.....	14
3.2	Específicos.....	14
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
<b>4.1</b>	<b>Ilhas de Calor</b> .....	15
<b>4.2</b>	<b>Sensoriamento Remoto</b> .....	17
4.2.1	Imagens de Satélite.....	17
4.2.2	Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN).....	18
4.2.3	Temperatura de Superfície.....	10
<b>4.3</b>	<b>Conforto Térmico</b> .....	20
4.3.1	Temperatura do Ar.....	21
4.3.2	Umidade do Ar.....	21
<b>5</b>	<b>DADOS E METODOLOGIA</b> .....	22
<b>5.1</b>	<b>Área de Estudo</b> .....	22
5.1.2	Município de Teresina-PI.....	22
5.1.3	Município de Timon-MA.....	23
<b>5.2</b>	<b>Dados</b> .....	23
<b>5.3</b>	<b>Metodologia</b> .....	25
5.3.1	Estimativa da Temperatura de superfície.....	25
5.3.1.2	Estimativa da Temperatura de superfície para imagens do Landsat 8.....	29
5.3.2	Interpolação.....	30
5.3.3	Cálculo do índice de Conforto Térmico Humano.....	31
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	33
6.1	Temperaturas de Superfície.....	34
6.2	Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN).....	38
6.3	Temperatura efetiva.....	41
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	46
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	47

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano tem desencadeado sérios problemas ambientais, dos quais sofrem profundas alterações na superfície e expansão das formas horizontais e verticais das cidades resultam em fontes adicionais de calor, logo a modificação do clima local (clima urbano). É reflexo do efeito do fenômeno denominado 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, que altera o fluxo de matéria e de energia sobre a atmosfera local.

Com o desenvolvimento das atividades antrópicas, o grande número de construções verticais, a impermeabilização do solo e a diminuição das áreas verdes, criam mudanças muito profundas na atmosfera local, modificando também a temperatura e interferindo na distribuição das chuvas na região (XAVIER et al., 2009).

Teresina é uma cidade com altas temperaturas do ar, e ao longo do tempo vem se expandindo e perdendo parte de sua vegetação, condição importante na promoção de sombreamento, conforto térmico e manutenção da umidade relativa do ar. Assim, diante da carência de trabalhos que verifiquem a influência da urbanização na supressão da vegetação e na temperatura da superfície de Teresina – PI buscou-se uma resposta que justifique essas alterações, através da quantificação do total de áreas verdes na cidade (FEITOSA et al., 2011).

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. São um mesoclima que está incluído no macroclima e que sofrem, 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.

Diante do exposto, o presente trabalho visou observar o fenômeno Ilhas de Calor Urbanas (ICU) em função da modificação e/ou crescimento das cidades de Teresina-PI e Timon-MA e a relação com o conforto térmico, por meio do sensoriamento remoto termal e do Índice de conforto térmico humano, Temperatura Efetiva.

## **2. JUSTIFICATIVAS**

O desenvolvimento das cidades em termos demográficos, socioeconômicos e culturais, produz ou intensifica seus problemas ambientais. Logo faz-se necessário estudos para aprimoramento de planejamentos urbanísticos que visem à melhoria das condições climáticas. A identificação e quantificação do fenômeno da ilha de calor, relacionada aos aspectos da urbanização, assim como a avaliação do conforto térmico. A modificação das áreas vegetadas por causa da modificação na superfície pelas atividades antropogênicas, transformando as grandes cidades em verdadeiras estufas.

Por meio de imagens de satélites o sensoriamento remoto, obtêm-se informações sobre a superfície, a baixo custo, e ampla cobertura que pode ser explorada é maior, entre diferentes resoluções espaciais, principalmente quando se utiliza as imagens de infravermelho (térmicas), as quais mostram características das superfícies urbanas quando comparadas com as outras superfícies do seu entorno. Entretanto a imagem tem representatividade instantânea, assim dados de superfície auxiliam na melhoria da exploração e avaliação da superfície.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Geral

**Observar** o fenômeno Ilhas de Calor Urbanas (ICU) em função da modificação e/ou crescimento das cidades de Teresina-PI e Timon-MA e a relação com conforto térmico, por meio do sensoriamento remoto termal e do Índice de conforto térmico humano, Temperatura Efetiva.

#### 3.2 Específicos

- **Avaliar** o aumento de Temperatura de Superfície de 2004 a 2016, através do sensoriamento remoto, desta forma identificar a evolução da temperatura de superfície ao longo dos anos nas cidades em estudo.
- **Comparar** os valores de Temperatura de Superfície, com o índice de vegetação, assim avaliar a relação entre as áreas com maiores e menores vegetação e a temperatura superficial.
- **Observar** o conforto térmico humano nas cidades de Teresina-PI e Timon-MA, usando a temperatura efetiva e identificar áreas mais confortáveis das cidades e as áreas com maior desconforto térmico.
- **Analisar** a relação entre ilhas de calor e o conforto térmico nos anos de estudo, mostrando se há uma influência no conforto local devido à intensificação do efeito.

## 4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

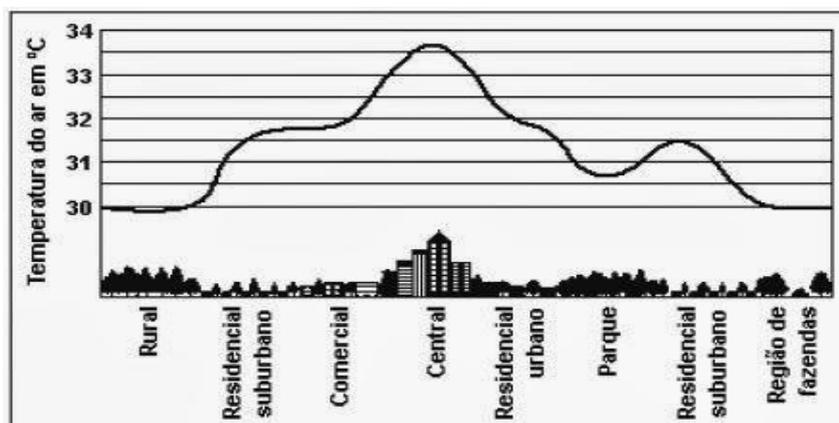
### 4.1 Ilhas de Calor

Um marco no estudo de ilhas de calor no Brasil foi o trabalho pioneiro de Lombardo (1985) no qual foram utilizadas imagens da banda termal do mapeador temático satélite Landsat 5 (banda 6) com resolução espacial 120 metros, e do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) do satélite NOAA (National Oceanic and Atmosphere Administration), com 1km de resolução para identificação de ilhas de calor na Região Metropolitana de São Paulo.

De todas as modificações climáticas produzidas pela cidade, a mais evidente e estudada consiste no fenômeno chamado de ilha de calor. É um fenômeno próprio das cidades, resultante do processo de urbanização e características peculiares ao meio urbano (BARBIRATO et al., 2007). O fenômeno da ilha de calor vem sendo observado em cidades em todo o mundo (GARTLAND, 2010).

Ilha de calor (ou ICU, ilha de calor urbana) é a distribuição do campo de temperatura, onde as temperaturas centrais tendem a serem mais elevadas que suas áreas próximas (Figura 1).

**Figura 1 - Representação de uma Ilha de Calor Urbana.**



Fonte: Marcos & Diamantino, Geografia dos mundos: Fundamentos. São Paulo, FTD, 2006, p 91.

Fialho (2009) divide as ilhas de calor em três tipos: a) vertical, dividida em Intra urbana (da superfície até o telhado das construções) medida em micro escala e Limite urbano (acima do nível dos telhados) medida em mesoescala e tem como interferência a poluição, velocidade do vento e rugosidade urbana; b) de superfície, usa como medidor de

temperatura o sensoriamento remoto e tem como resultado a temperatura aparente da superfície; c) atmosférica, onde a temperatura do ar é medida em secções móveis ou pontos fixos, levando em consideração a cobertura da terra e o tipo de uso do solo.

Estudo realizado por Baptista (2002) corrobora com os conceitos preceituados por LOMBARDO (1985), no que se consideram as questões vinculadas a uma ocupação urbana desorganizada, principalmente com os impactos do aumento populacional. Baptista (2002) realizou estudos na cidade do Distrito Federal, a partir de imagens LANDSAT TM5 de 1984 e 2001, constatando um aumento médio da temperatura de 3° C, neste período.

Atualmente, núcleos urbanos estão substituindo a vegetação, que auxilia na regulação da temperatura do ar e gera sombra (LECHNER, 1991), por materiais como asfalto, que tem os maiores coeficientes de absorção para radiação solar, além de ter alto grau de aquecimento.

As ilhas de calor são o resultado de vários fatores físicos, sendo alguns independentes da vontade humana como a velocidade dos ventos regionais. Porém, a ação do homem, também, é um fator preponderante na formação destes microclimas, como a utilização dos vários materiais na construção das cidades, dentre estes o asfalto, pedra, tijolo, que absorvem radiação solar no período diurno, liberando-a durante a noite, o que provoca aumento de temperatura do ar neste período (Cavalcante, 2007).

Os materiais usados na construção, como o asfalto e o concreto, servem de refletores para o calor produzido na cidade. Durante o dia, os edifícios funcionam como um labirinto de reflexão nas camadas mais altas de ar aquecido. À noite a poluição do ar impede a dispersão de calor (LOMBARDO, 1985).

Os efeitos que surgem a partir das transformações do homem no meio ambiente, podem afetar diretamente a população local causando-lhes sensação de desconforto de diversas formas. Alterações essas, causadas no espaço natural pelas cidades proporcionam a formação de um clima urbano e de vários microclimas urbanos, derivados, principalmente das diversas alterações no ambiente das cidades: retirada da cobertura vegetal e substituição por áreas construídas; introdução de novas formas no relevo; concentração de edificações, que em conjunto aumentam a rugosidade urbana; concentração de equipamentos e pessoas que através das atividades diárias liberam calor antropogênico na atmosfera aumentando a temperatura do ar; impermeabilização do solo; canalização do escoamento superficial; lançamento concentrado e acumulado de partículas e gases na atmosfera pela combustão dos veículos e indústrias; e produção de energia artificial (MENDONÇA, 1994).

As ICU são caracterizadas por atuarem em duas diferentes camadas da atmosfera urbana, uma numa escala mais local, que vai da superfície até a camada superior (entre os edifícios) e outra numa escala maior, abrangendo também os arredores dos grandes centros urbanos, até onde a influência das ICU interage com a atmosfera (OKE e VOOGT, 2003).

As causas para a formação das ICU podem ser identificadas, não somente através da temperatura da superfície, mas também quando se associa à superfície a natureza da cobertura da área analisada (GOMES, 2011). Segundo Ferreira et al. (2005), o estudo do uso/ocupação do solo consiste em conhecer toda forma de utilização do solo por parte do homem ou pela caracterização dos tipos e categorias de vegetação natural que reveste o solo.

Mesmo municípios que não são consideradas grandes metrópoles, podem ter diferença entre temperatura rural e urbana comparável a de grandes centros urbanos como São Paulo, como foi observado por Coltri et al. (2007), em estudo de ilha de calor em Piracicaba, SP, outro exemplo de variação considerável de temperatura foi constatado por Mashiki (2012) no município de Botucatu, SP com temperatura máxima de 35° C na área urbana e 19° C na área rural.

Também podem ocorrer ilhas de calor em áreas rurais, se estiverem degradadas, secas, mas elas podem não ocorrer em áreas urbanas, se estiverem adequadamente arborizadas e com água disponível no solo para a evapotranspiração (PRIMAVESI et al., 2007).

## **4.2 Sensoriamento Remoto**

### **4.2.1 Imagens de Satélite**

A série LANDSAT (Land Remote Sensing Satellite) foi iniciada no final da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. O primeiro satélite da série começou a operar em 1972 e as últimas atualizações ocorreram em 1999 com o lançamento do LANDSAT-7 e em 2013 com o lançamento do LANDSAT-8. As imagens de satélite são obtidas por equipamentos (satélites artificiais) lançados à órbita da Terra por foguetes e que através de sensores acoplados fazem a leitura da superfície na terra formando imagem. O satélite Landsat 5 lançado em 1984 portando o sensor Thematic Mapper (TM).

Cada banda termal do Landsat 5 é representada através de uma imagem composta por uma matriz de pixels em 256 tons de cinza (COLTRI, 2006). Cada um dos pixels que compõem a imagem tem um número digital (DN) associado, número esse que corresponde à tonalidade de cinza através do qual é representado e à característica da região (COLTRI, 2006).

As resoluções das imagens são divididas em três tipos: a resolução espacial, definida pela capacidade do sensor de “ver” os objetos na superfície terrestre; a resolução espectral, definida pela número de bandas e comprimento do intervalo de onda utilizado pelo sensor; e a resolução radiométrica, que representa dados pelo sensor através de níveis de cinza. (CROSTA, 1993).

#### **4.2.2 Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN)**

Várias técnicas já foram estudadas com o objetivo de se determinar quantitativamente e qualitativamente o estado da vegetação a partir de imagens de satélites. Índices de vegetação foram então desenvolvidos a fim de reduzir o número de parâmetros presentes nas medidas multiespectrais (FILHO et al., 2007).

A análise integrada dos atributos do meio físico urbano, tais como a topografia, o clima e a cobertura vegetal, associados ao uso e à ocupação do solo, possibilita a elaboração de um diagnóstico ambiental mais consistente de uma determinada área. Este tipo de análise é recomendada por autores como Lu & Weng (2006), Mascaró (1991) e Weng et al. (2004), entre outros.

Wallace (2000) realizou estudo para discriminação remota de campos de cereais inundados, com experimentos utilizando aviões e também dados Landsat – TM. Foram encontradas diferenças marcantes em culturas em terras secas e inundadas e concluiu que as melhores faixas espectrais para estas discriminações são o infravermelho próximo, por sua reflectância diminuída em áreas inundadas e o infravermelho termal, pela diminuição da temperatura radiométrica nas mesmas áreas. Esses resultados indicaram que as plantas saudáveis (não inundadas) têm maior reflectância no infravermelho próximo e maior temperatura no infravermelho termal.

A presença de Ilhas de Calor na maioria das vezes está relacionada a pouca ou nenhuma vegetação, e como parâmetro de medida os índices de vegetação são utilizados como indicadores da presença de cobertura vegetal. Os índices de vegetação, dentre

outras coisas, ressaltam o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre (MOREIRA, 2003).

#### **4.2.3 Temperatura de Superfície**

A temperatura da superfície ( $T_s$ ) é um elemento chave nos processos físicos da superfície terrestre em escalas regional e global, combinando os resultados de todas as interações superfície-atmosfera e fluxos de energia entre a atmosfera e o solo (Wan, 2008). Então, pesquisas recentes em sensoriamento remoto identificaram a  $T_s$  como um dos parâmetros fundamentais para o controle de processos físicos, químicos e biológicos na interface entre a terra e a atmosfera, afirmam Zhang et al. (2009).

Segundo estudo realizado por Lo & Quattrochi (1985), a análise multitemporal de imagem de satélite visa verificar se houve aumento na temperatura média da superfície ao longo dos anos, o que pode ser um indicador do surgimento ou intensificação do fenômeno ilha de calor. A variação espacial da temperatura, tratado em estudos como o de Weng et al. (2004), teve o objetivo de verificar padrões de variação da temperatura da superfície ou ainda, diferenças de tipos de uso e cobertura da terra.

A temperatura de solos nus pode variar em alguns graus em dezenas de metros e entre áreas plantadas e não plantadas a variação é maior. A radiância emitida termicamente por qualquer superfície depende da temperatura da superfície, da emissividade da superfície, sendo que esta última representa a eficiência da superfície em transmitir a energia radiante gerada no solo. A temperatura do ar não é boa indicadora da temperatura de superfície, porque em algumas superfícies com baixa evaporação (vegetação “estressada”), a temperatura de superfície excede em vários casos em  $7^{\circ}\text{C}$  a temperatura do ar (Price, 2002).

A obtenção da temperatura da superfície terrestre através de imagens termais, obtidas por sensoriamento remoto, é de considerável importância para muitas aplicações em oceanografia, estudos de mudanças climáticas, geologia, hidrologia e monitoramento da vegetação (Sobrino et al., 1996).

Quando se trata dos elementos climáticos, a temperatura é um dos elementos de maior sensibilidade, sendo influenciada facilmente pela urbanização; essa mudança é observada, muitas vezes, em nível local nos grandes centros urbanos (Santiago & Gomes, 2016).

### 4.3 Conforto Térmico

O conceito de conforto térmico implica necessariamente na definição de índices em que o ser humano sinta confortabilidade em decorrência de condições térmicas agradáveis ao corpo. Para García, conforto térmico consiste no conjunto de condições em que os mecanismos de autorregulação são mínimos, ou ainda na zona delimitada por características térmicas em que o maior número de pessoas manifeste se sentir bem (García, 1985).

Costa (2005), fala das mudanças (tais como, urbanização e industrialização) ocorridas nos grandes centros urbanos, nos últimos anos, são consequências do aumento da concentração populacional, que sobrecarrega a infraestrutura básica nesses centros. Acelerando, assim, o processo de substituição e degradação do ecossistema natural por estruturas artificiais sem o compromisso de oferecer uma qualidade ambiental urbana a seus habitantes.

Segundo MARCONDES (1981, p. 21), "O ambiente onde o homem vive é um produto de sua atividade, não podendo ser analisado sem levar em conta a natureza das relações sociais existentes". Assim, pode-se afirmar que o homem é o agente que mais interfere na natureza, e é submetido aos elementos climáticos para atender suas necessidades, principalmente de alimentação e moradia.

O conceito de conforto térmico implica necessariamente na definição de índices em que o ser humano sinta confortabilidade em decorrência de condições térmicas agradáveis ao corpo (...) conforto térmico consiste no conjunto de condições em que os mecanismos de autorregulação são mínimos, ou ainda na zona delimitada por características térmicas em que o maior número de pessoas manifeste se sentir bem. (GOMES & AMORIM, 2003, p. 96).

Evans (1980) fala que existem quatro fatores do ambiente térmico os quais afetam a taxa de perda de calor do corpo e, por conseguinte, o conforto térmico, sendo eles a temperatura, a umidade, a radiação e movimento do ar. Já Olgyay (1998) ao abordar a relação entre os elementos climáticos e o conforto, aponta como principais elementos o movimento do ar, a pressão de vapor, a evaporação e o efeito da radiação (temperatura). Cavalcante (2007) acredita que as variáveis ambientais que estão relacionadas ao conforto térmico, as principais são a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a velocidade do ar e a temperatura radiante média.

### **4.3.1 Temperatura do Ar**

A variação da temperatura do ar na superfície da terra resulta basicamente dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação do sol de local para local, sendo esta taxa de aquecimento e resfriamento da superfície terrestre o principal fator determinante da temperatura do ar acima dela (GIVONI, 1976). Lamberts et al. (1997) fala sobre esta ser a variável ambiental mais conhecida e de mais fácil medição.

É importante ressaltar que para temperaturas iguais, a sensação de conforto térmico pode ser desigual em consequência de variáveis como o vento e a umidade relativa do ar (Giralt, 2006).

### **4.3.2 Umidade do Ar**

A umidade relativa é uma variável de fundamental importância no estudo do conforto térmico, tem uma variação nas diferentes horas do dia e épocas do ano, mesmo quando a pressão de vapor permanece constante. Isto se dá devido às mudanças diurnas e anuais na temperatura do ar, que determina a capacidade potencial do ar em conter determinada quantidade de vapor d'água (GIVONI, 1976).

Efeitos causados pela umidade do ar no conforto humano são de certa forma atuando diretamente na capacidade da pele de evaporar o suor. Deve-se compreender que em altas umidades relativas temos mais dificuldades em evaporar o suor, aumentando a sensação de desconforto térmico (LAMBERTS ET AL., 1997).

A umidade corresponde à quantidade de vapor d'água encontrada no ar atmosférico em um determinado instante e pode ser expressa em valor absoluto e valor relativo. A umidade é relativa ao ponto de saturação de vapor de água na atmosfera, em média 4% que, ao alcançar esse valor, tem-se certamente precipitação, ou seja, chuva (Giralt, 2006).

A umidade tem relação direta com a quantidade de vapor d'água presente no ar, as partículas em suspensão possuem maior poder de absorver o calor solar e se aquecerem, que funcionam como uma barreira da radiação solar de dia e do calor dissipado no período noturno (Cavalcante, 2007). Dessa forma, Lamberts e Xavier (2002) consideram os valores entre 30% e 70% uma faixa satisfatória para o conforto térmico.

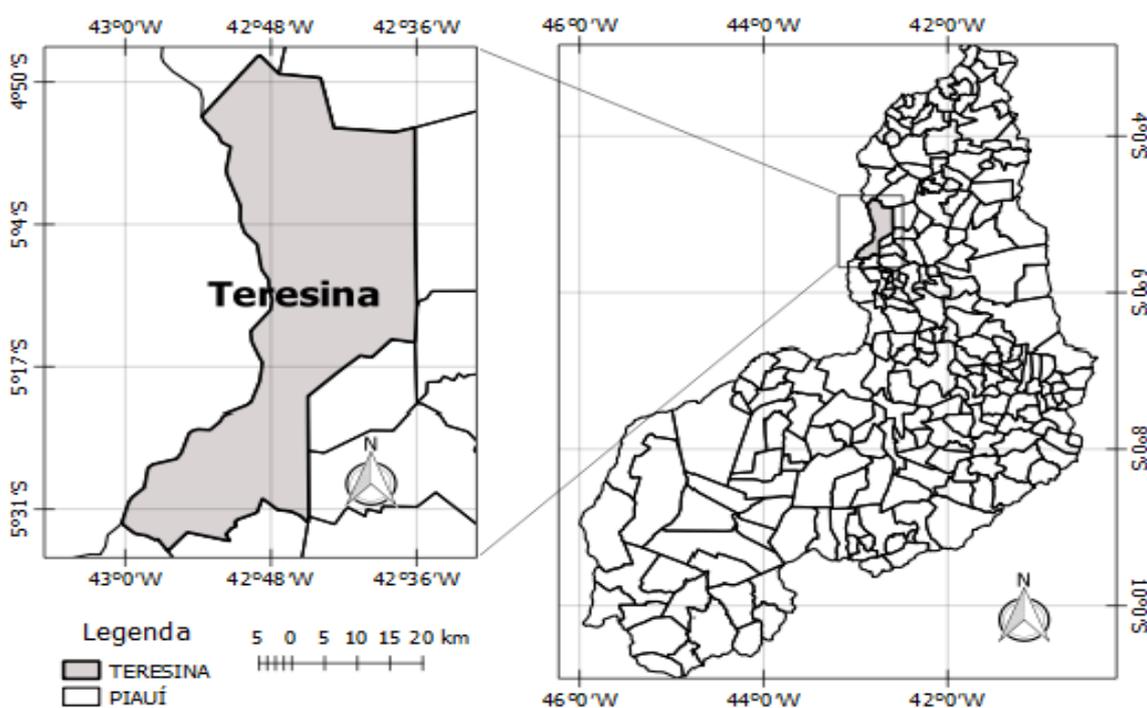
## 5. DADOS E METODOLOGIA

### 5.1 Áreas de Estudo

#### 5.1.2 O Município de Teresina-PI

O município de Teresina é capital e o município mais populoso do estado do Piauí. Tem um território de aproximadamente 1392,0 km<sup>2</sup> (Figura 2). 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 Censo 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).

**Figura 2 - Posição geográfica da cidade de Teresina-PI.**

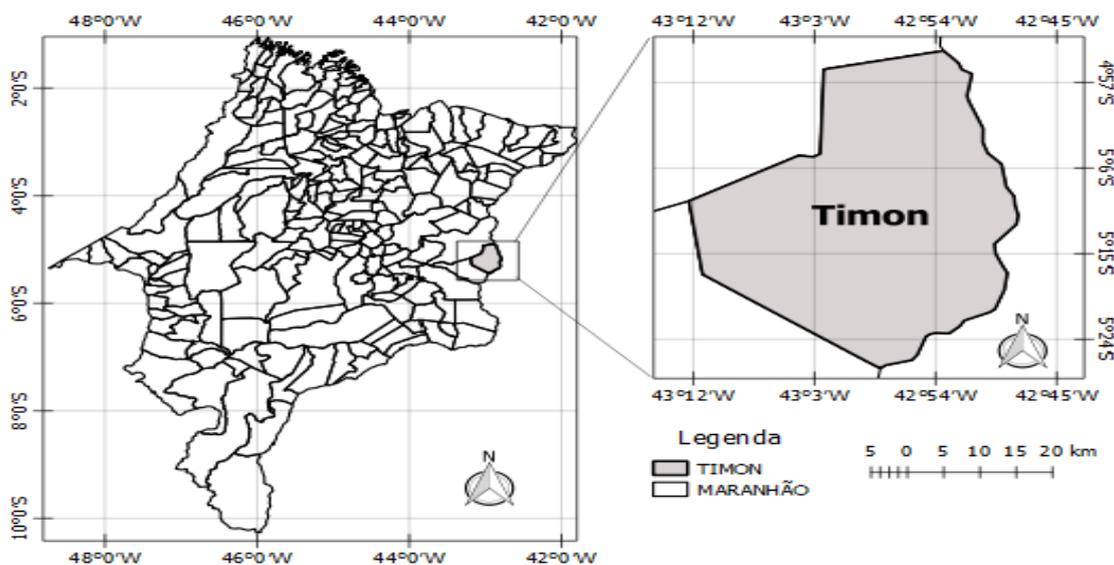


Fonte: Autor, 2016.

### 5.1.3 O Município de 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 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 89,18 hab/km<sup>2</sup> (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).

Figura 3 - Posição geográfica da cidade de Timon-MA



Fonte: Autor, 2016.

### 5.2 Dados

Foram utilizadas seis imagens, quatro obtidas pelo satélite Landsat-5 TM, adquiridas no Catálogo de Imagens - DGI - INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) e duas obtidas do Landsat-8 no site da USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). As imagens

possuem 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 conforme a Tabela.1.

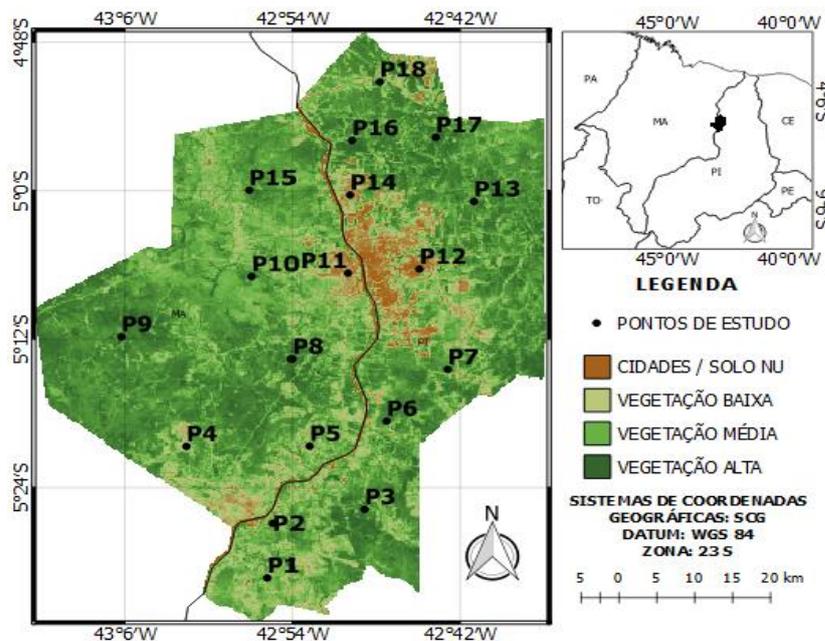
**Tabela 1- Datas das passagens do satélite.**

<i>Landsat 5</i>	<i>Landsat 8</i>
<i>20 de Junho de 2004</i>	<i>18 de Julho de 2014</i>
<i>10 de Junho de 2006</i>	<i>23 de Julho de 2016</i>
<i>01 de Julho de 2008</i>	
<i>21 de Junho de 2010</i>	

Fonte: Autor, 2016.

Foram obtidos dados horários, diários e mensais de temperatura e umidade relativa do ar, para os anos de estudo obtidos nas estações pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e localizado nas cidades de Teresina-PI e Timon-MA, utilizados no cálculo do Índice de Conforto Térmico Humano, conforme o item 5.4.4. Para criação dos mapas de interpolação, foram necessários coleta de dados de temperatura de superfície, os dados são baseados em pontos aleatórios com latitude e longitudes, Figura 4.

**Figura 4: Localização dos pontos de estudo.**



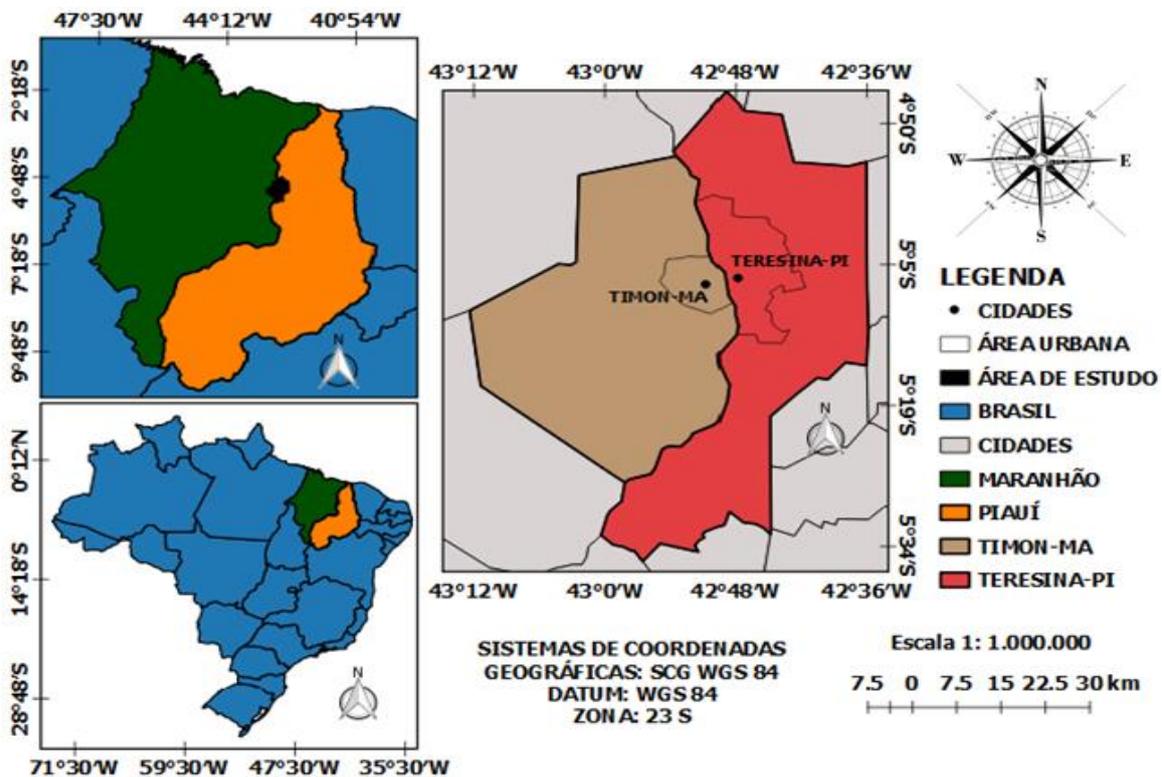
Fonte: Autor, 2016.

### 5.3 Metodologia

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 Qgis 2.14, tendo imagens necessárias para a obtenção da temperatura na superfície terrestre, que serviu de base para a identificação das ilhas de calor. Foi feita a união das cidades de Teresina-PI e Timon-MA para a área de estudo, totalizando 3135,2 Km<sup>2</sup>, como visto na Figura 5.

Figura 5 - Posição geográfica da área de estudo.



Fonte: Autor, 2016.

#### 5.3.1 Estimativa da Temperatura de superfície.

O cálculo da temperatura de superfície da área de estudo segundo as etapas de processamento das imagens descritas no fluxograma da Figura 6. As etapas referentes ao algoritmo SEBAL foram aplicadas segundo o cálculo da radiância espectral,

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

**Figura 6 - Fluxograma das etapas do processamento da temperatura de superfície.**



Fonte: Autor, 2016.

### Calibração Radiométrica – Etapa 1

Para obtenção da calibração radiométrica, o número digital (ND) de cada pixel da imagem foi convertido em radiância espectral monocromática. Essas radiâncias representaram 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):

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

Em que a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ , 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 Lmáx) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera, (para imagens após 4 de maio de 2003).**

Bandas Espectrais	Comprimento De onda ( $\mu m$ )	Após 04/05/2003		
		Lmin	Lmax	$K\lambda i$
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: Chander e Markham, 2003

## Reflectância Monocromática – Etapa 2

A Etapa 2 representa o cômputo da reflectância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ), 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):

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

Onde  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda,  $k_{\lambda_i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $Wm^{-2} \mu m^{-1}$ , Tabela 4),  $Z_i$  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:

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

$$\text{Onde: } \Gamma = 360(DJ-1) / 365 \quad (3)$$

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

## Índices de Vegetação: IVDN, IVAS e IAF – Etapa 3

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

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

Onde  $\rho_{IV}$  e  $\rho_V$  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.

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (IVAS) que é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo, é utilizada a expressão (Huete, 1988):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (5)$$

Onde L é constante. Em vários estudos utiliza-se L = 0,5, que é o valor mais frequente na literatura (Huete & Warrick, 1990; Accioly et al., 2002; Boegh et al., 2002).

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

$$IAF = -\frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (6)$$

#### **Emissividades – Etapa 4**

Para a obtenção da temperatura da superfície, é utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal  $\epsilon_{NB}$ . Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga  $\epsilon_0$  (6 – 14  $\mu$ m). Segundo Allen et al. (2002), as emissividades  $\epsilon_{NB}$  e  $\epsilon_0$  podem ser obtidas, para  $IVDN > 0$  e  $IAF < 3$ , segundo:

$$\epsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 IAF \quad (7)$$

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01 IAF \quad (8)$$

Para pixels com  $IAF \geq 3$ ,  $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$ . Para corpos de água ( $IVDN < 0$ ), no caso do lago de Sobradinho e do leito do Rio São Francisco, Silva & Cândido (2004) utilizaram os valores de  $\epsilon_{NB} = 0,99$  e  $\epsilon_0 = 0,985$ , conforme Allen e al. (2002).

#### **Temperatura da Superfície – Etapa 5**

Para a obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ ) são utilizados a radiância espectral da banda termal  $L_{\lambda,6}$  e a emissividade  $\epsilon_{NB}$  obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície (K) pela equação 10:

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

Onde  $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$  e  $K_2 = 1260,56 \text{ K}$  são constantes de calibração da banda termal do Landsat 5 –T (Allen et al., 2002).

### 5.3.1.2 Estimativa da Temperatura de superfície para imagens do Landsat 8.

#### Calibração Radiométrica – Etapa 1

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

$$L_b = \text{Add}_{\text{rad},b} + \text{Multi}_{\text{rad},b} \text{ND}_b \quad (10)$$

**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	
	$\text{Multi}_{\text{rad},b}$	$\text{Add}_{\text{rad},b}$	$\text{Multi}_{\text{rad},b}$	$\text{Add}_{\text{rad},b}$
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.

#### Reflectância Monocromática – Etapa 2

Para o computo da reflectância no landsat 8, em cada uma das bandas foi obtida por Chander & Markham (2003 ), **Equação 5** :

$$r_b = \frac{(Add_{rad,b} + Multi_{rad,b} ND_b)}{\text{CosZ } d_r} \quad (11)$$

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 :

$$d_r = \left( \frac{1}{d_{ES}} \right)^2 \quad (12)$$

$d_{ES}$  - distância Terra-Sol (unidade astronômica ) no dia de cada imagem, também extraída dos metadados. Para o ano de 2014 ( $d_{ES}= 1,0162552$ ) e 2016 ( $d_{ES}=1,0158549$ ).

As demais etapas referentes ao algoritmo SEBAL são as mesmas do Landsat-5 foram aplicadas após a calibração radiométrica e a reflectância monocromática o índice de vegetação e temperatura da superfície.

### 5.3.2 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).

O método utilizado foi o inverso da distância, também chamado de IDW (Inverse Distance Weighted), o inverso ponderado da distância é um método puramente matemático, segundo Miranda (2005), este método estima um valor para um local não amostrado como uma média dos valores dos dados dentro de uma vizinhança. O IDW utiliza os dados próximos, tendo maior peso os valores com maior distância, assim cada

ponto tem uma influência no ponto criado, diminuindo assim a medida que se aumenta a distância. Para o cálculo da interpolação do valor de um ponto através do método do IDW, utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$u(x) = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{w_i(x)u_i}{\sum_{j=0}^n w_j(x)}}{\sum_{j=0}^n w_j(x)} \quad (13)$$

Em que,  $u(x)$  - é o valor do ponto que se deseja interpolar;  $n$  - é a quantidade de pontos próximos utilizados na interpolação do ponto  $x$ ;  $u(x_i)$  - é o valor do ponto  $x_i$ ; e  $w_i$  - é o peso do valor de  $x_i$  sobre o ponto  $x_i$ . Para se determinar  $w_i$  utiliza-se a seguinte equação matemática:

$$w_i = \frac{1}{d(x,x_i)^p} \quad (14)$$

Em que,  $d(x, x_i)$  - é a distância entre o ponto  $x$  e o ponto  $x_i$ ; e  $p$  - é o parâmetro de potência, geralmente igual a dois. Os parâmetros com maiores potência enfatizam pontos mais próximos, tornando o resultado menos suavizado e os de menores potências os mais distantes, entretanto com menor precisão.

### 5.3.3 Cálculo do índice de Conforto Térmico Humano

O conforto térmico, expressa o bem estar do ser humano em função das condições do meio, sendo ele influenciado principalmente pela temperatura e a umidade relativa do ar, 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):

$$TE = T - 0,4(T - 10) \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (15)$$

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.**

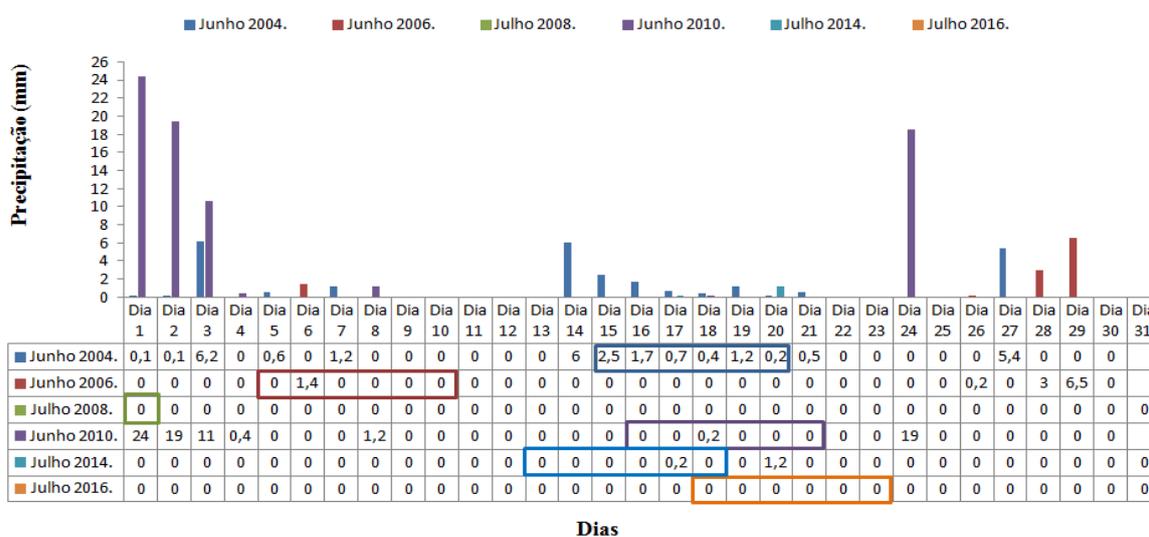
<b>TE (°C)</b>	<b>Sensação Térmica Humana</b>
<i>&gt; 30</i>	<i>Calor Extremo</i>
<i>24 a 30</i>	<i>Calor Moderado</i>
<i>18 a 24</i>	<i>Agradável- Levemente Quente</i>
<i>12 a 18</i>	<i>Agradável- Levemente Fresco</i>
<i>0 a 12</i>	<i>Fresco</i>
<i>- 12 a 0</i>	<i>Frio</i>
<i>&lt; - 12</i>	<i>Frio Extremo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

Fonte: Hentschel (1986); citado em Suping et al.,(1992), Adaptada pelo Autor, 2016.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 7 mostra as precipitações referentes aos meses das imagens de satélite, assim dos meses em estudo e suas respectivas datas de passagens do satélite. Os valores do ano de 2004 foram afetados, devido precipitações de 6,5 mm nos cinco dias antecedentes e 0,2 mm no dia da passagem do satélite. Os demais dias e meses em estudo, não foram afetados por precipitações antecedentes. Precipitações anteriores à passagem do satélite podem afetar os valores das temperaturas de superfície como dita por REICHARDT e TIMM (2004), que a grande influência da precipitação na temperatura, pois parte da energia proveniente da radiação solar absorvida pela superfície é usada como calor latente na evaporação da água nela contida, reduzindo a sua temperatura.

**Figura 7 - Precipitações referentes aos meses de Junho/Julho dos anos de estudo.**



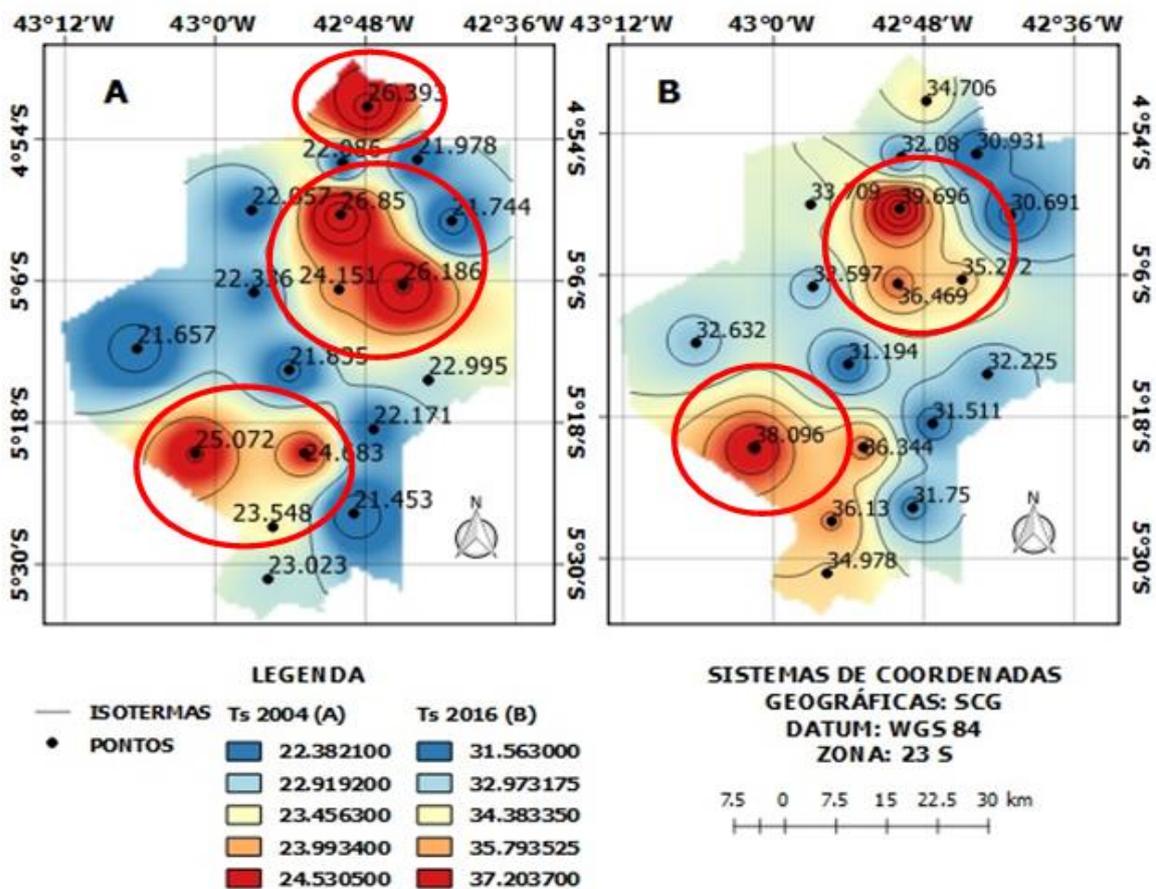
Fonte: Autor, 2016.

### 6.1 Temperatura de Superfície

Quando se compara as temperaturas de superfície entre os anos de 2004 e 2016, notou-se o aumento das temperaturas com o passar dos anos. O ano de 2004, (Figura 8A), exibe valores máximos próximos de 27 °C com tonalidade em vermelho e valores mínimos próximos de 21 °C, tonalidade de azul-escuro, por outro lado em 2016, (Figura 8B), os valores máximos são 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) encontraram uma variação de 10°C ao longo de oito anos na cidade de Maceió-AL. Isso se deve as tendências no aumento térmico ao longo dos anos, decorrente do crescimento das cidades, que 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.

Figura 8 - Comparação entre as temperaturas de superfície, para 2004 (A) e 2016 (B).

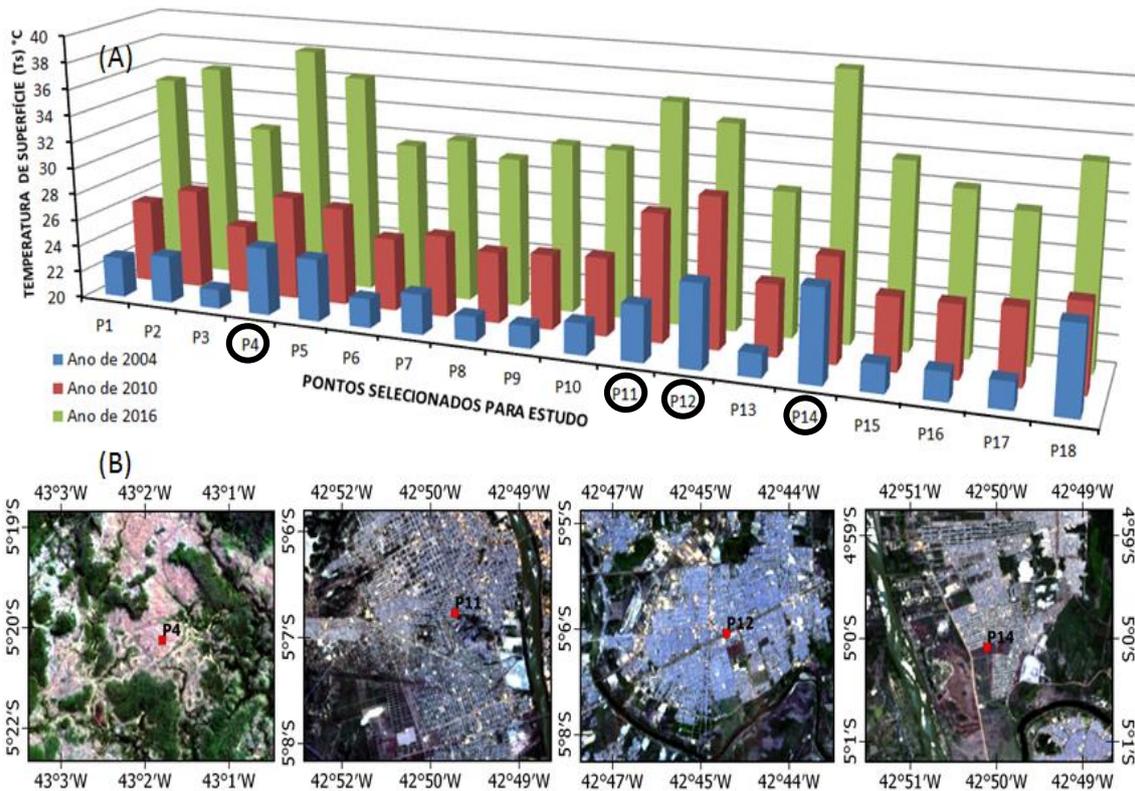


Fonte: Autor, 2016.

Fazendo uma comparação a cada seis anos, notou-se o aumento das temperaturas de superfície como mostrado na Figura 9A com destaque aos pontos P4, P11, P12 e P14, os quais são os pontos de maiores temperaturas encontrados ao longo dos anos de estudo. A Figura 9B mostra quatro pontos, o ponto P4 mostrado destaca a área de solo nu e os demais pontos, P11, P12 e P14 as áreas das cidades de Teresina-PI e Timon-MA. Áreas onde há vegetação as temperaturas tendem a serem menores, devido à

radiação incidente ser utilizada nos fluxos de calor latente para a evapotranspiração e a presença de água dentro das folhas dificulta o aumento da temperatura, devido ao elevado calor específico da água (PRIMAVESI et al, 2007).

**Figura 9 - Comparação das temperaturas de superfície (A), para os anos de 2004, 2010 e 2016, para os pontos selecionados no estudo e sua forma de ocupação (B).**

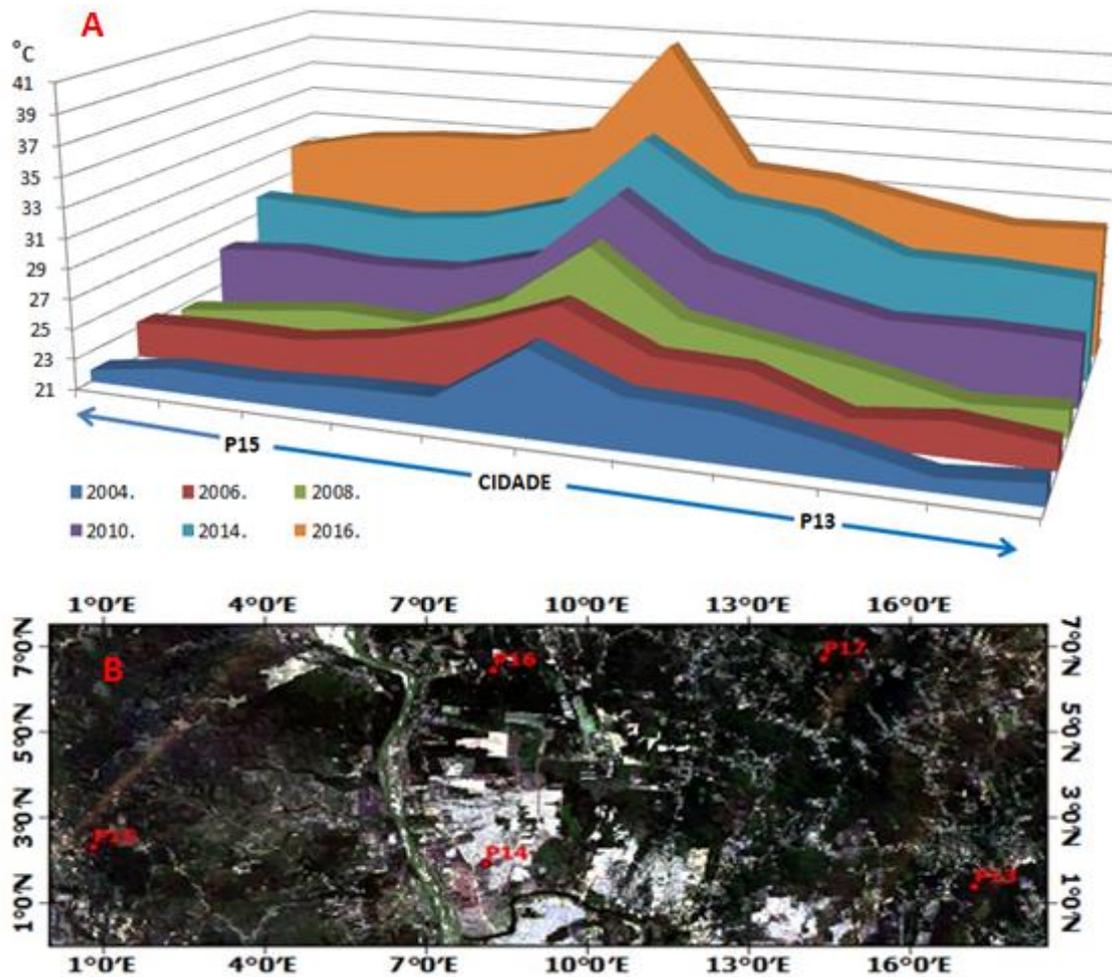


Fonte: Autor, 2016.

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 9 observou-se a comparação entre a forma de ocupação do solo Figura 10B e a temperatura local Figura 10A, onde se observou na que as variações de temperatura deram-se 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 10B 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 10 - Comparação entre a temperatura de superfície (A) e a forma de ocupação do solo (B) para os anos de estudo.**



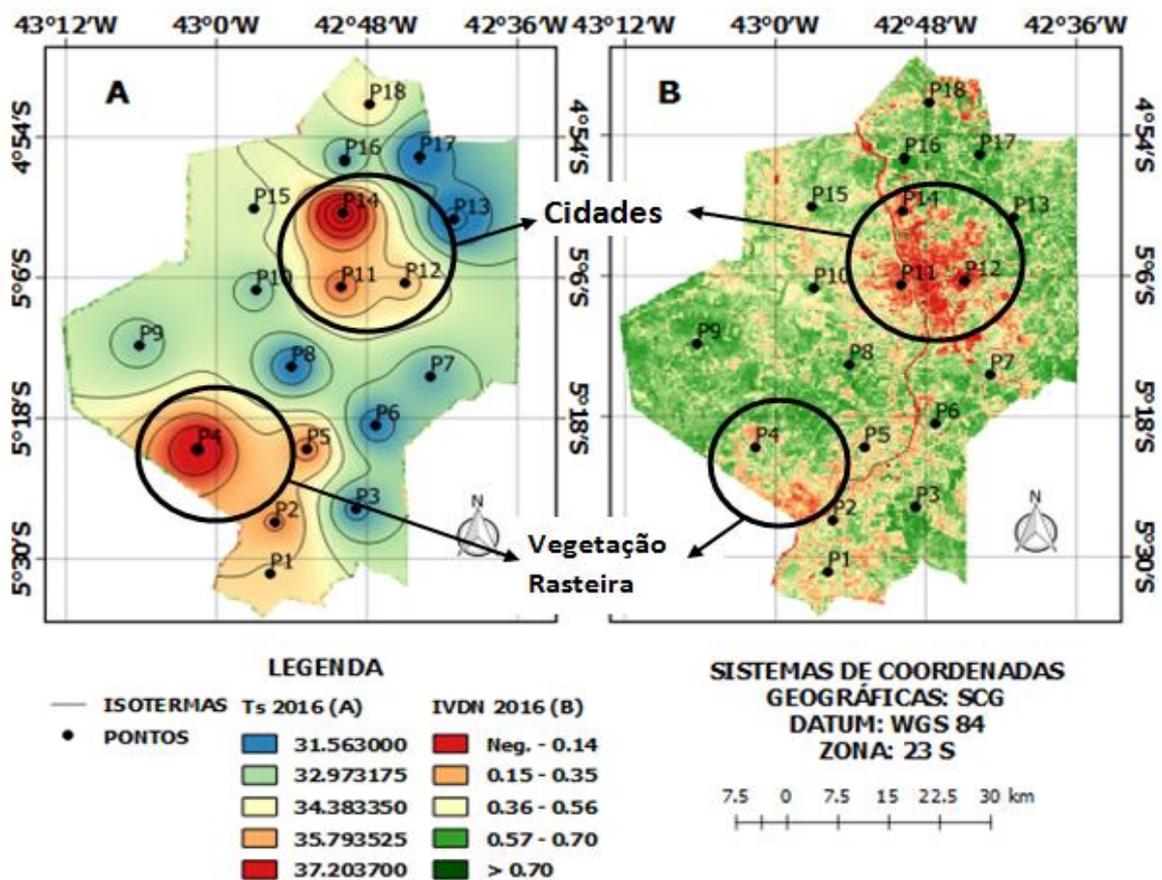
Fonte: Autor, 2016.

Ao se comparar o mapa de IVDN com o mapa da distribuição da temperatura superficial (Figura 11A e 11B), 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, na Figura 11B, os mesmos pontos estão com valores de IVDN entre negativos (corpos d'água) e 0.16, ambos em tonalidade de vermelho, em 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, com valores variando 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 11 - Comparação entre a distribuição da Temperatura de Superfície (A), e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) (B) para o ano de 2016.**



Fonte: Autor, 2016.

## 6.2 Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN).

Quando comparado os IVDNs ao longo dos 12 anos de estudo, observou-se a diminuição ao longo dos anos (Tabela 5), os valores relacionados aos máximos, médios e mínimos do IVND relacionados ao longo dos anos, exibiu um decréscimo ao longo dos 12 anos de estudo, onde em 2004 houve um valor máximo de 0.832, e em 2016 valores máximos de 0.513. Consequentemente os valores médios seguiram o padrão de diminuição. Os valores mínimos mostraram um aumento negativamente, assim mostrando que houve aumento nas áreas sem vegetação e corpos d'água.

**Tabela 5- Valores máximos, médios e mínimos de IVDN para os anos de estudo.**

	Anos					
	2004	2006	2008	2010	2014	2016
Máximo	0.832	0.830	0.753	0.787	0.731	0.632
Médio	0.617	0.632	0.583	0.516	0.344	0.381
Mínimo	-0.595	-0.535	-0.664	-0.688	-0.775	-0.766

Fonte: Autor, 2016.

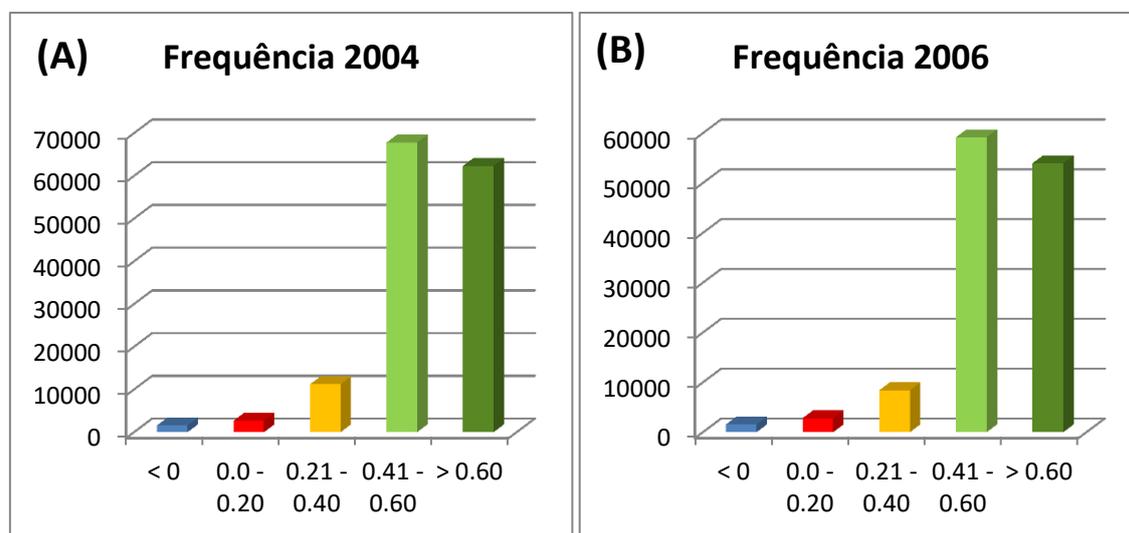
O ano de 2004, (Figura 12A), foi o que se mostrou os maiores valores, maiores que 0.60, por causa da maior densidade de vegetação na área de estudo em tonalidade de verde-escuro. Os menores valores para 2004 foram encontrados na parte urbana, valores com valores menores que zero (corpos d'água) e 0.20 (solo nu e/ou cidades), variando da tonalidade de vermelho ao laranja. O ano de 2006, Figura 12B, obtiveram valores próximos do ano de 2004, predominando densas vegetações com valores variando dos 0.41 a maior que 0.60, variando do verde-claro ou verde-escuro e os menores para as cidades e corpos d'água. As Figuras 12C e 12D mostraram a diminuição das vegetações, onde ainda se observou valores próximos dos maiores que 0.60, entretanto já se mostrou uma maior predominância nos valores entre 0.41 e maiores que 0.60 tonalidade do verde-claro. Valores entre zero e 0.40 já são visto, em aumento.

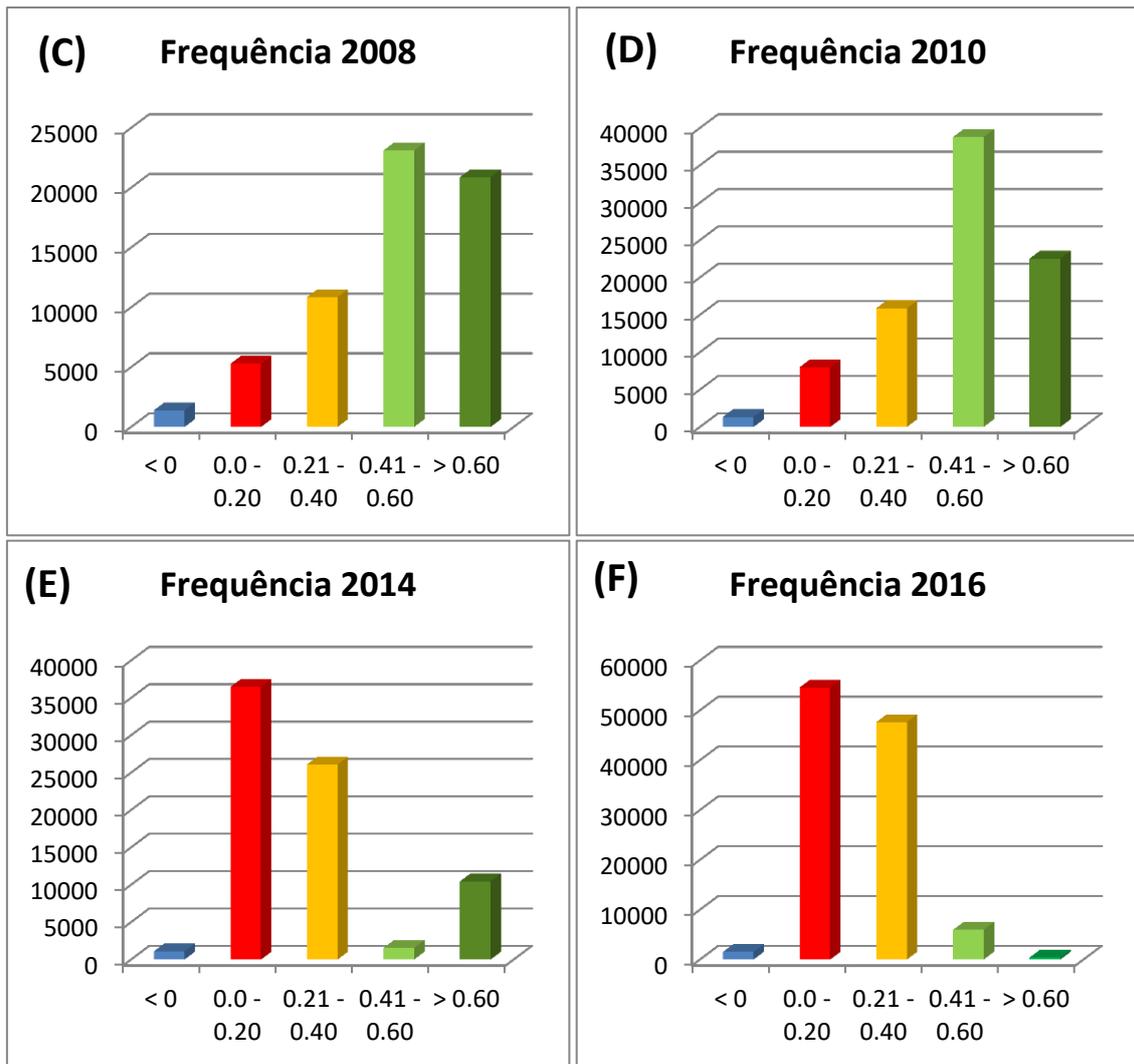
Os valores para os anos de 2014 e 2016 (Figuras 12E e 12F, respectivamente), mostraram os valores menores na comparação entre os seis anos de estudo com mudanças significativas constatadas nas classes de IVDN baixo e solo exposto. Fatores como o ENOS (El Niño-Oscilação Sul) que influenciaram em uma seca severa entre

2012-2015 para o nordeste brasileiro, neste período foi considerada a pior seca entre as últimas décadas, afetando grandes setores como a pecuária, áreas industriais e principalmente os setores agrícolas. MOLION (2000) Fala que o impacto causado pelo fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), um exemplo de perturbação climática de escala global, pode ser sentido principalmente pela modificação no regime e no total de precipitação que, dependendo da intensidade do evento, pode resultar em secas severas, interferindo, de forma expressiva, nas atividades humanas.

Desta forma Valores maiores que 0.60 são poucos observados na Figura 12E, predominando os valores entre zero e 0.20, cores do vermelho ao amarelo. Entre os anos de 2014 e 2016 os valores em maiores destaques estão em vermelho, faixa onde as áreas sem qualquer cobertura vegetal /ou áreas construídas estão inseridas. Segundo Sartori (2009), mesmo em condições de boa disponibilidade de água, existem áreas com valores baixos de IVDN, que podem ser devido à presença de solo exposto ou ainda devido ao tipo de solo com baixa retenção de água. Solos rasos, pedregosos ou de textura arenosa podem intensificar os efeitos da deficiência de água na classificação do IVDN.

**Figura 12- Frequências de valores dos Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para os anos de 2004 (A), 2006 (B), 2008 (C), 2010 (D), 2014 (E) e 2016 (F).**

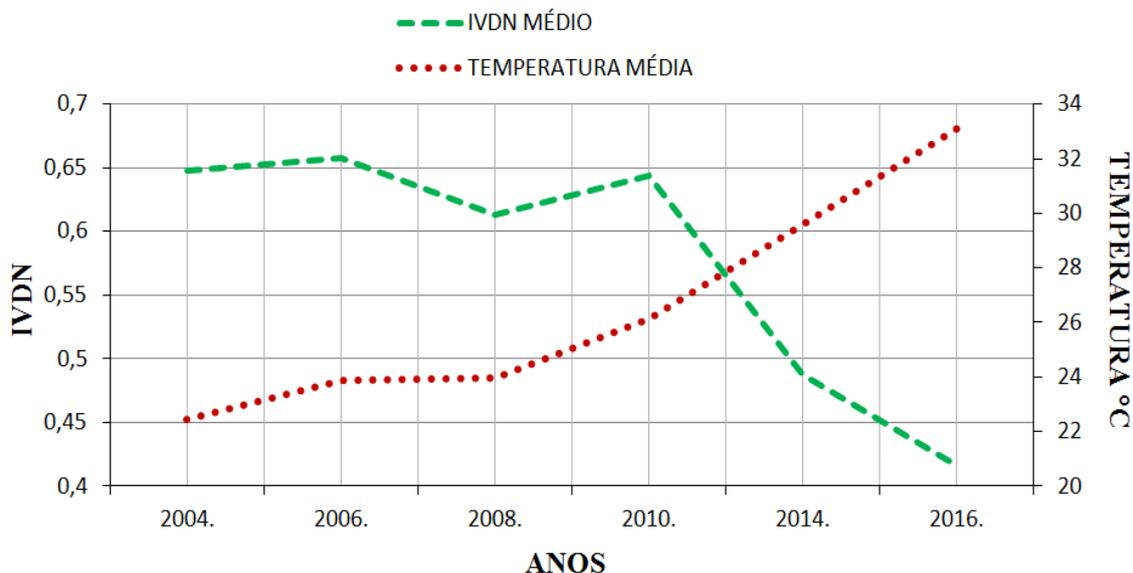




Fonte: Autor, 2016.

Com base na Figura 13 os valores de 2016 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 13. 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 13 - Comparação entre os valores médios de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) e a Temperatura Média de Superfície.**



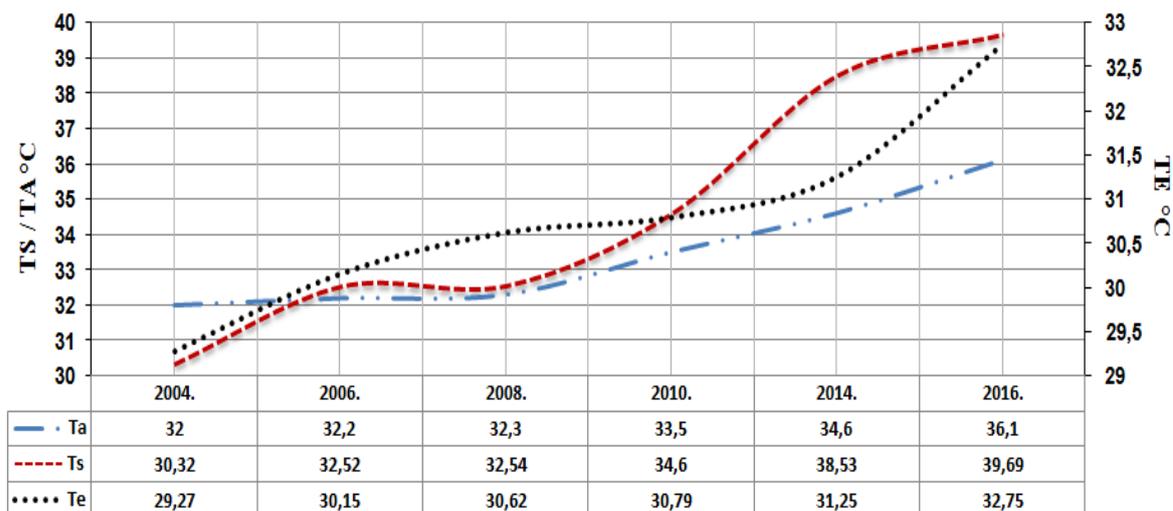
Fonte: Autor, 2016.

### 6.3 Temperatura efetiva

Com exceção do ano de 2004, no qual os valores de temperaturas radiométricas calculadas (temperatura de superfície) foram menores que as temperaturas do ar, devido à influência de precipitação em dias antecedentes, e no dia da imagem que contribuíram nas baixas temperaturas no ano, as demais datas mostram que as temperaturas de superfície foram superiores as temperaturas do ar, (Figura 14). Isto era esperado, já que, a comparação foi feita com dois níveis diferenciados de medição, as da Superfície do solo, através de detectores, os quais são usados para a medição das quantidades espectrais de radiação incidente, refletida, transmitida ou emitida (Temperatura radiométrica calculada) e entre 1,5 e 2 metros (Temperatura do ar) e devido o aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre, que ocorre principalmente por transporte de calor, a partir do aquecimento da superfície pelos raios solares que aquecem consequentemente a parcela de ar próximo da superfície.

A variação da temperatura efetiva foi crescente ao longo dos anos acompanhando o aumento das temperaturas de superfície e do ar, na medida em que as modificações foram feitas nas superfícies dos solos.

**Figura 14 - Comparação entre a temperatura do ar, temperatura de superfície e a temperatura efetiva, para os anos de estudo.**

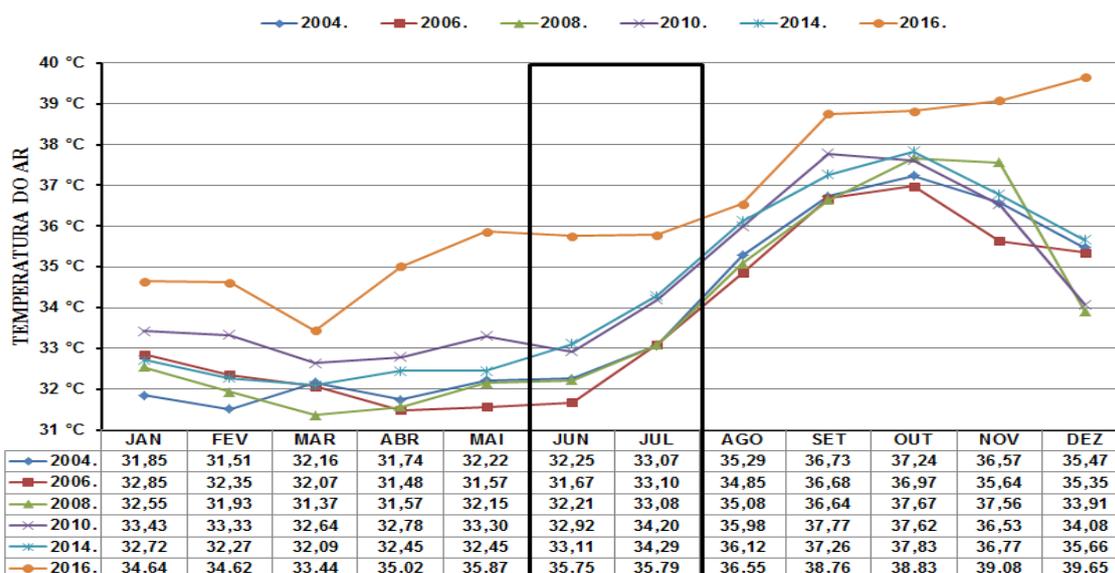


Ta = TEMPERATURA DO AR; Ts = TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE; Te = TEMPERATURA EFETIVA

Fonte: Autor, 2016.

Os valores de temperatura mensal do ar, (Figura 15) 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.

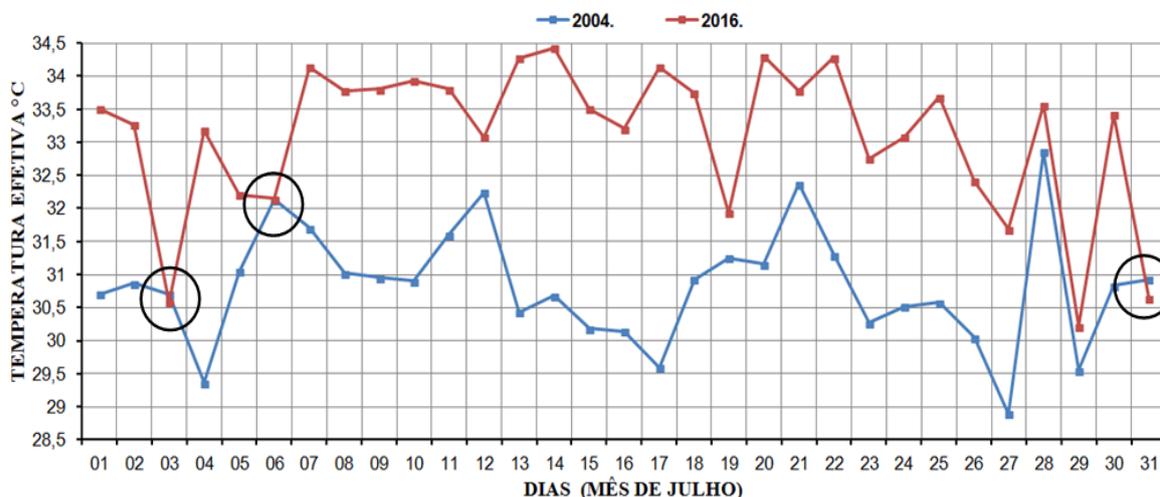
**Figura 15 - Comparação entre a temperatura mensal do ar, para os anos de estudo.**



Fonte: Autor, 2016.

Na Figura 16 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.

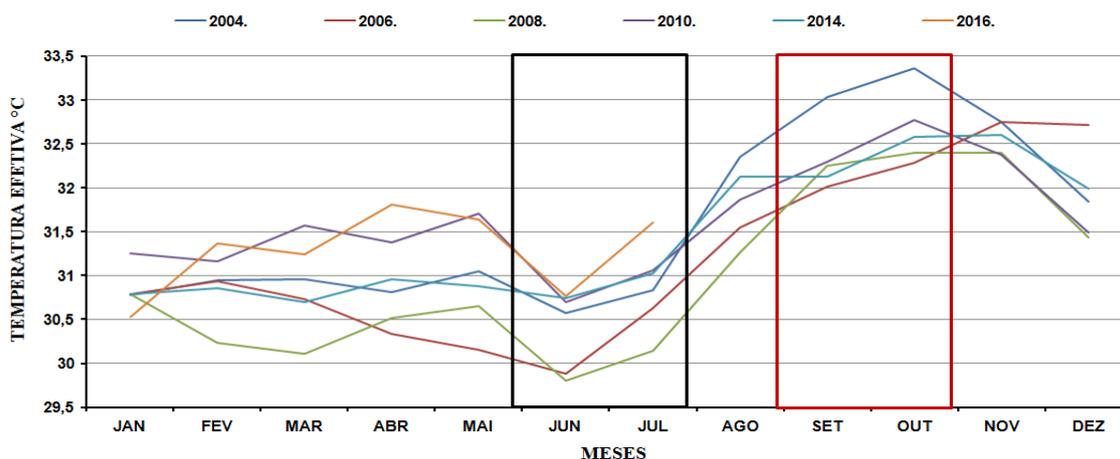
**Figura 16 - Comparação entre as temperaturas efetivas diárias, para o mês de Julho de 2004 e Julho de 2016.**



Fonte: Autor, 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 (Figura 17) mostraram que os meses setembro e outubro apresentaram os maiores valores entre 31°C e 33,4 °C, enquanto os menores ocorreram no 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 tem baixa velocidade, classificado como “brisa”.

**Figura 17 - Comparação entre as temperaturas efetivas mensais, para os anos de estudo.**



Fonte: Autor, 2016.

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.

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

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 uma variação de 2°C na comparação dos quatro primeiros meses, logo em seguida uma variação de 4°C intensificando o desconforto térmico, a classe que houve maior intensificação no estudo destacada 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, conseqüentemente aumenta o desconforto humano, visto que o ser humano sofre influência do meio em que vive.

## REFERÊNCIAS

ACCIOLY, Luciano J. de O. et al. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2002.

ALVES, E. D. L. Ilha de calor ou ilha de energia térmica: um conceito aberto à discussão. **Revista Espaço Acadêmico, Maringá**, v. 10, n. 110, p. 124-129, 2010.

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. **Introdução À Climatologia Para Os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 332p.

ATI, AGÊNCIA DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DE TIMON. Disponível em: < [http://timon.ma.gov.br/site/?page\\_id=246](http://timon.ma.gov.br/site/?page_id=246) >. Acesso em: 25 de set. 2016.

BASTOS, A. E.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Boletim agrometeorológico de 2007 para o Município de Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008.

BAPTISTA, João Gabriel. **Geografia Física do Piauí**. COMEPI, Teresina, 1972.

BAPTISTA, GM de M. Estudo multitemporal do fenômeno ilhas de calor no Distrito Federal. **Revista Meio Ambiente**, v. 2, p. 03-17, 2002.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e Cidade: a Abordagem Climática como Subsídios**. Maceió: EDUFAL, 2007, 154 p. 2007.

BOEGH, Eva; SOEGAARD, Henrik; THOMSEN, Anton. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. **Remote Sensing of Environment**, v. 79, n. 2, p. 329-343, 2002.

CARNAHAN, Walter H.; LARSON, Robert C. An analysis of an urban heat sink. **Remote sensing of Environment**, v. 33, n. 1, p. 65-71, 1990.

CAVALCANTE, M. R. C. **Avaliação da qualidade térmica de praças em Maceió - Al:** três estudos de caso. 2007. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL. 2007.

CHANDER, Gyanesh; MARKHAM, Brian. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, n.11, p.2674-2677, 2003.

COLTRI, P.P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: Análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto. Piracicaba.** 2006. 166p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia). Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz/USP.

COLTRI, P.P; VELASCO, G.N. POLIZEL, J.L.; DEMETRIO. V.A.; FERREIRA, N.J. **Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007. Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5151-5157.

COSTA FILHO, JF da et al. Estimativa do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) na microrregião de Sousa-PB utilizando imagens do CBERS-2. 15. In: **XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Aracajú-SE.** 2007.

COSTA, Juliana Magna da Silva. **Qualidade do ar interior e conforto térmico: um estudo em espaços de estacionamento em Natal/RN.** 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CROSTA, Á. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Ed. Rev. – Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993.

EVANS, J. **Housing, climate and confort.** The architectural Press Limited, London, 1980.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort.** New York: McGraw-Hill Book Company, 1970

FERREIRA, Aline Batista et al. Análise comparativa do uso e ocupação do solo na área de influência da Usina Hidrelétrica Capim Branco I a partir de técnicas de

geoprocessamento. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 12, p. 2997-3004, 2005.

FIALHO, E. S. **Ilha de Calor em cidade de pequeno porte: Um caso de Viçosa, Zona da Mata Mineira**. São Paulo, 2009. 259p. Tese (Doutorado em Geografia/Geografia física) – Universidade de São Paulo.

FEITOSA, Sônia Maria Ribeiro et al. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina-Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, p. 58-75, 2011.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Terezinha Ramos. **Manual de conforto térmico**. Studio Nobel, 2001.

GARCÍA, F. F. **Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación**. Madrid: Editorial síntesis S. A. 1985.

GARCÍA, 1985, p.199 apud GOMES & AMORIM, 2003, p. 96. Arborização e conforto térmico no espaço Urbano: estudo de caso nas praças públicas e Presidente prudente (sp). **Revista Online, Caminhos de Geografia** 7(10)94-106, set/2003.

GARTLAND, Lisa. **"Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas."** São Paulo: Oficina de Textos (2010).

GIRALT, R. P. **Conforto térmico em espaços públicos abertos na cidade de Torres-RS. 2006. 238 f.** 2006. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. 2ed. London, Applied Science, 1976. 483p.

GOMES, L. C. F. **Dinâmica da temperatura da superfície em resposta às alterações na cobertura e uso do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado em meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande–PB, 70p, 2011.

HENTSCHEL, G. A human biometeorology classification of climate for large and local scales. World Climate Programme Applications No.1, **World Meteorological Organization**, p. 120-138, 1986.

HOWARD, Luke. **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, 1833.

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

HUETE, A. R.; WARRICK, A. W. Assessment of vegetation and soil water regimes in partial canopies with optical remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 32, n. 2-3, p. 155-167, 1990.

INPE, DGI Imagens. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em 15 de julho de 2016.

IQBAL M. **An introduction to solar radiation. Library of Congress Cataloging in Publication data.** Academic Press Canadian, 1983. 390p.

KIM, Y. H. & BAIK, J. J. Spatial And Temporal Structure Of Urban Heat Island In Seoul. **American Meteorological Society**, v. 44, p. 591-605, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. P. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo, PW, 1997.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico e stress térmico. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEE.** Florianópolis, 2002, 106 p.

LECHNER, N. Heating, COOLING, Lighting. **Design methods for architectes.** Ed. Jonh Willey & Sons, 1991.

LIMA, Milcíades G. de. **O Clima de Teresina. Boletim da UFPI.** Teresina: EDUFPI, 1985.

LO, C. P.; QUATTROCHI, Dale A. Land-Use and land-cover change, urban heat island phenomenon, and health implications. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 69, n. 9, p. 1053-1063, 2003.v.1, n.1, p.1-2, 1985.

LOMBARDO ,M.A. **Ilha de Calor nas Metr6poles: O exemplo de S6o Paulo**. S6o Paulo, 1985.

LU, Dengsheng; WENG, Qihao. Use of impervious surface in urban land-use classification. **Remote Sensing of Environment**, v. 102, n. 1, p. 146-160, 2006.

MARCONDES, Eduardo (coord.). 1981. **Ecopediatria: a for7a do ambiente sobre a sa7de da crian7a**. S6o Paulo: Sarvier

MARCOS & DIAMANTINO, **Geografia dos mundos: Fundamentos**. S6o Paulo, FTD, 2006, p 91.

MARKHAM, B. L. and BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances, **Int. Journal of Remote Sensing**, v. 8, n6. 3 p. 517-523, 1987

MASCAR6, L. R. **Energia na edifica76o, estrat6gia para minimizar seu consumo**. Projeto de Editores Associados, S6o Paulo, n. 81, p. 69, nov. 1991.

MASHIKI, M. Y.; **Geoprocessamento na identifica76o de ilhas de calor e influ6ncia do uso e ocupa76o do solo na temperatura aparente da superf7cie no munic7pio de Botucatu/SP**. 2012. 80f. Disserta76o (mestrado em Energia na Agricultura). Botucatu, 2013.

MENDON7A, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte m6dio e pequeno: proposi76o metodol6gica para o estudo e sua aplica76o 6 cidade de Londrina/PR**. (Tese de Doutorado). S6o Paulo: FFLCH/USP- Programa de P6s-Gradua76o em Geografia, 1994, 300p.

MIRANDA, Jos6 Iguelmar. EMBRAPA INFORMA76O TECNOL6GICA. **Fundamentos de sistemas de informa76es geogr6ficas**. Bras7lia: EMBRAPA Informa76o Tecnol6gica, 2005.- 425p.

MISSENARD, A. **L'homme et le climat**. Paris, 1937.

MOLION, Luiz Carlos Baldicero; BERNARDO, Sergio de Oliveira. Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais...(CD-ROM). Rio de Janeiro**. 2000.

MONTEIRO, C. A de F.; Mendonça, F.(Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003. 192p.

MORAES, Adolfo M.. Rio Parnaíba. **Um Rio em Busca de Norte**. In: Carta CEPRO. Teresina: Cepro, v. 18, n. 1 Jan/Jun. 2000.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed. Viçosa - MG: UFV, 2003. 307 p.

MOREIRA, Elvis Bergue Mariz; GALVÍNIO, Josiclêda Domiciano. Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife Utilizando imagens tm Landsat 7. **Revista de Geografia**, v. 24, p. 101-115, 2007.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: G.Gili, 1998.

OKE, T. R.; VOOGT, J. A. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing Environment**, v. 86, p. 370-384,2003.

PAIVA, C. M., **Estimativa do balanço de energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR**, Rio de Janeiro, 248f, Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M.S.; **Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais ou urbanos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007. — (Embrapa Pecuária Sudeste. Documentos, 70).

PRINCE, S.D. 2 Spatial and Temporal Scales for Detection of Desertification. **Geography Department**, University of Maryland, 2002.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Editora Manole, 2004. 478 p

SANT'ANNA NETO, J. L. Mudanças Climáticas Globais: Implicações no Desenvolvimento Econômico e na Dinâmica Natural. **Revista Pantaneira**, v. 2, n. 2, p. 66-78, 2000.

SANTIAGO, Dimas Barros; GOMES, Heliofábio Barros. 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**, v. 9, n. 3, p. 793-803, 2016.

SARTORI, Anderson Antonio da Conceição et al. Influência do período de estiagem no Índice de Vegetação (NDVI), no município de Botucatu-SP. **XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal. Anais.... Natal: Inpe**, p. 25-30, 2009.

SAYDELLES, A. P.; **Estudo Do Campo Térmico E Das Ilhas De Calor Urbano Em Santa Maria-Rs**, Dissertação de Mestrado UFSM Santa Maria, RS, Brasil 2005. 237p.

SOBRINO, J.A, Z.L. LI, M.P. STOLL e F. BECKER: Multi-channel and multiangle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 17, No.11, 2089-2114, 1996.

SHEPARD, Donald. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In: **Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference**. ACM, 1968. p. 517-524.

SPIRN, A. W. **O Jardim de Granito: A natureza do Desenho da Cidade**. São Paulo: Editora da USP, 1995. 345p.

SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L. Study of the relationship between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distande runners. **International Journal of Biometeorology**, v. 36, p. 63-68, 1992.

TREVISAN, RODRIGO G.; MOLIN, JOSÉ P.. Sistemas de informação geográfica (sig) para agricultura de precisão. **Boletim de Precisão**. Boletim Técnico 01. Piracicaba-SP, Dezembro de 2014.

VIANA, S. S. M. **Caracterização do Clima Urbano em Teodoro Sampaio/SP**. 2006. 190f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

WALLACE, J. A. Temporal studies of deciduous forests in northeastern Kansas using Landsat Thematic Mapper images: **unpublished master's thesis**, Emporia State University, Kansas, 146 p., 2000.

Wan, Z. **New refinements and validation of the MODIS Land surface Temperature/Emissivity products**. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.59-74, 2008.

WENG, Qihao; LU, Dengsheng; SCHUBRING, Jacquelyn. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 467-483, 2004.

XAVIER, Alyson Lino et al. Variação da temperatura e umidade entre áreas urbanas de Cuiabá. **Engenharia Ambiental–Espírito Santo do Pinhal**, v. 6, n. 1, p. 82, 2009.

Zhang, Y.; Odeh, I.O.A.; Han, C. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.11, p.256-264, 2009.