



**UNILAB**

**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-  
BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**ÍTALO MAGNO DE MELO SANTOS**

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR:  
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE MARACANAÚ – CE**

**ACARAPE**

**2021**

**ÍTALO MAGNO DE MELO SANTOS**

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR:  
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE MARACANAÚ – CE**

Monografia apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. UNILAB – Campus dos Palmares.

Orientador: Prof. Dr. George Leite Mamede

Co-Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rafaella da Silva Nogueira

**ACARAPE**

**2021**

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Sistema de Bibliotecas da UNILAB  
Catalogação de Publicação na Fonte.

---

Santos, Italo Magno de Melo.

S237v

Variabilidade espaço-temporal da formação de ilhas de calor:  
estudo de caso no município de Maracanaú - Ce / Italo Magno de Melo  
Santos. - Redenção, 2021.

72f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de  
Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da  
Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção,  
2021.

Orientador: Prof. Dr. George Leite Mamede.

Coorientador: Profª Dra. Rafaella da Silva Nogueira.

1. Infravermelho termal. 2. Sensores climatológicos. 3.  
Temperatura. I. Nogueira, Profª Dra. Rafaella da Silva  
Coorientadora. II. Título.

CE/UF/BSCA

CDD 634.9

---

**ÍTALO MAGNO DE MELO SANTOS**

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR:  
ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE MARACANAÚ – CE**

Monografia apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira. UNILAB – Campus dos Palmares.

**Aprovado em: 14 de abril de 2021**

**BANCA EXAMINADORA**



**Prof. Dr. George Leite Mamede (Orientador)**

**Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira**



**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rafaella da  
(Co-Orientadora)**

**Silva Nogueira**

**Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira**



**Prof. Dr. Alexandre Cunha Costa**

**Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a meus familiares e amigos que me encorajaram a cursar essa graduação, aos meus colegas, amigos e professores de curso. Ao meu orientador e professor Dr. George Mamede por ter me apresentado o geoprocessamento, a professora Dr<sup>a</sup>. Rafaella por ter me aceito em seu grupo de pesquisa TopoGeo e ter me incentivado a pesquisa. Agradecimentos especiais ao Patrick Brito meu parceiro de artigos ao qual me incentivou e apoiou para que esta pesquisa pudesse ser realizada.

## RESUMO

Com o surgimento das cidades o ser humano passou a compartilhar e dividir espaços causando um adensamento populacional com constante mobilidade e infraestrutura. Assim, mediante sua expansão surgiu-se os problemas ambientais, principalmente os relacionados a atmosfera que conta com diferentes processos como inversão térmica, chuvas ácidas e ilhas de calor. Sendo o último agravado pela presença de materiais como concreto e asfalto que devido a suas propriedades térmicas ocasionam um aumento da temperatura ambiente, trazendo diversos problemas desde o aumento do consumo de energia a problemas de saúde. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa é identificar a presença de ilhas de calor na cidade de Maracanaú-CE, com a utilização de estações meteorológicas de baixo custo, e o uso das ferramentas de geoprocessamento como instrumento metodológico de identificação e expressão dos dados, As metodologias empregadas dividem-se em etapas: a primeira está relacionada à identificação de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto, a segunda etapa é a caracterização da intensidade dessas ilhas com base nos dados oriundos das estações e uma etapa final correspondendo a uma comparação entre os dados encontrados na primeira e segunda etapa. Com os resultados identificou-se a presença de ilhas de calor na região diretamente ligadas ao aumento da temperatura principalmente a nordeste do município. Por meio desse resultado especializaram-se as estações para realizar o monitoramento da presença do fenômeno por um período de dois meses. As estações passaram a coletar dados de temperatura e resultaram que na região densamente povoada do município as temperaturas são mais intensas em comparação as outras regiões. Apontou também a presença as ilhas de calor de maior intensidade com diferenças de até 8°C em comparação a região sul que tem temperaturas mais amenas. A comparação dos dados entre as duas metodologias apontam valores de temperaturas aproximados o que de certo modo validam a presença do fenômeno. Assim com os resultados pode-se observar que as ilhas de calor não são fenômenos presentes apenas em grandes metrópoles, pois pequenas cidades também podem sofrer com a ação do fenômeno.

Palavras-chave: Infravermelho termal. Sensores climatológicos experimentais. Temperatura superficial.

## ABSTRACT

With the emergence of cities, human beings started to share and divide spaces, causing a population density with constant mobility and infrastructure. Thus, through its expansion, environmental problems arose, mainly those related to the atmosphere, which has different processes such as thermal inversion, acid rain and heat islands. The latter being aggravated by the presence of materials such as concrete and asphalt which, due to their thermal properties, cause an increase in the ambient temperature, bringing several problems from the increase in energy consumption to health problems. Thus, the objective of this research is to identify the presence of heat islands in the city of Maracanaú-CE, with the use of low-cost meteorological stations, and the use of geoprocessing tools as a methodological instrument for the identification and expression of data, As The methodologies employed are divided into stages: the first is related to the identification of heat islands by means of remote sensing, a second stage is the characterization of the intensity of these islands based on the data from the stations and a final stage corresponding to a comparison between the data found in the first and second stages. The results identified the presence of heat islands in the region directly linked to the increase in temperature, mainly to the northeast of the municipality. Through this result, they specialized as stations to monitor the presence of the phenomenon for a period of two months. The stations started to collect temperature data and it turned out that in the densely populated region of the municipality the temperatures are more intense compared to other regions. He also pointed out the presence as islands of heat of greater intensity with differences of up to 8 ° C in comparison to a south region that has milder installations. The comparison of data between the two methodologies indicates approximate temperature values, which in a way validate the presence of the phenomenon. Thus, with the results, it can be observed that the heat islands are not phenomena present only in large metropolises, because small cities can also suffer from the action of the phenomenon.

Keywords: Thermal infrared. Experimental climatological sensors. Surface temperature.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.</b>	<b>O fenômeno ilhas de calor em espaços urbanos: origem, formação e consequências.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.</b>	<b>Geoprocessamento aplicado à análise da temperatura superficial.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3.</b>	<b>Estações de baixo custo e o monitoramento da formação de ilhas de calor.....</b>	<b>18</b>
<b>3.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1.</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>20</b>
<b>4.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da área.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.</b>	<b>Etapa 1 - Sensoriamento remoto.....</b>	<b>23</b>
4.2.1.	Temperatura da superfície.....	23
4.2.2.	Uso e ocupação.....	26
<b>4.3.</b>	<b>Etapa 2 – Estações de coleta de dados.....</b>	<b>27</b>
4.3.1.	Concepção da estação.....	27
4.3.2.	Concepção do projeto eletrônico.....	29
<b>4.4.</b>	<b>Validação dos dados de sensoriamento remoto e estações de baixo custo.....</b>	<b>32</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1.</b>	<b>Análise de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2.</b>	<b>Análise de ilhas de calor por meio de estações experimentais.....</b>	<b>40</b>
<b>5.3.</b>	<b>Validação entre os dados da etapa 1 e etapa 2.....</b>	<b>46</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>48</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>
<b>8.</b>	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o início da humanidade sob o planeta Terra, o homem sempre buscou formas de melhorar as condições de vida e bem-estar. Com o aperfeiçoamento da capacidade humana várias conquistas foram ocorrendo, desde os mais simples aos complexos feitos. Com isso, os locais de moradia foram sendo transformados e substituídos, caracterizando um adensamento populacional com constante mobilidade e infraestrutura, o que ficou conhecido como as cidades (SANTOS *et al.*, 2014).

Para Alves, (2017) o desenvolvimento urbano ocorrido no século XX modificou significativamente as características físicas dessas cidades. Esse desenvolvimento urbano além de modificar o cenário nas cidades teve reflexo também nas áreas rurais, uma vez que parte da população camponesa se deslocou em direção aos centros urbanos em busca de oportunidades promovidas pela revolução industrial, que intensificou mais ainda esse processo de urbanização, conseqüentemente aumentando os limites das cidades. Esse marco ficou conhecido como êxodo rural.

A urbanização é considerada um símbolo do progresso e do desenvolvimento, entretanto alguns estudos apontam como a principal responsável pelas alterações ambientais e conseqüentemente redução da sadia qualidade de vida populacional (SANTOS; AMORIM; DEREZYNSKI, 2016). Para Mendonça, (2003) a problemática ambiental se intensifica à medida que as cidades se urbanizam. Sendo estas cidades de pequeno e médio porte quantas áreas metropolitanas.

Dentre os vários problemas ambientais encontrados nas áreas urbanas, destacam-se as perturbações atmosféricas, que são responsáveis pela desestruturação de vários ecossistemas naturais. Em concordância com Acero *et al.* (2012) as problemáticas atmosféricas são resultantes da impermeabilização das superfícies naturais, constantes obstáculos interagindo com o fluxo de ar e emissão de partículas potencialmente poluidoras. Dentre os problemas atmosféricos, destacam-se a inversão térmica, chuvas ácidas e ilhas de calor, sendo este último o mais influenciado pelas edificações. Para Azevedo *et al.*, (2017) as ilhas de calor são resultados de diversos elementos que compõem as cidades e o calor antropogênico

de suas atividades, assim as áreas mais antropizadas tendem a ser mais quentes em relação às áreas rurais.

Nessa perspectiva faz-se necessário o estudo desse fenômeno nas mais diferentes regiões, uma vez que cada cidade apresenta características próprias o que podem resultar em diferentes manifestações do fenômeno. Dentre os estudos climáticos, os métodos de utilização de estações climatológicas de baixo custo pode ser uma alternativa viável principalmente pelo baixo valor agregado e pela representação real nos dados. Alguns autores realizaram estudos climáticos com essa metodologia (CONSIGLIERI, 2017; MOURA, 2018; AMORIM *et. al*, 2018).

Outra prática muito comum na atualidade para o estudo de dados climáticos, sobre a interferência das ilhas de calor no meio ambiente, é o uso do geoprocessamento. Essa ferramenta tem a finalidade de uso de imagens de satélites e outras representações geográficas para o entendimento e expressão do fenômeno e seus constituintes. Para Tôsto *et al.* (2014) o Geoprocessamento é definido como um conjunto de ferramentas computacionais (software e hardware) utilizadas para tratamento e análise de dados geográficos. Que pode se constituir como um instrumento imprescindível para os estudos ambientais.

Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo identificar a presença de ilhas de calor na cidade de Maracanaú-CE, com a utilização de estações meteorológicas de baixo custo, e o uso das ferramentas de geoprocessamento como instrumento metodológico de identificação e expressão dos dados.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O fenômeno ilhas de calor em espaços urbanos: origem, formação e consequências.

A urbanização das cidades em diversas partes do mundo estar fortemente atrelada ao processo de migração rural entre os povos, mais conhecido como êxodo rural. Esse processo foi um marco por várias décadas, que caracterizou a movimentação populacional do campo para as cidades. De acordo com Alves, Souza e Marra (2011) no Brasil as migrações ocorrem principalmente pelo objetivo das pessoas em melhorar suas condições de vida nos novos destinos escolhidos (cidade, estado ou região).

*No passado, o êxodo rural contribuiu para a urbanização do Brasil. No período 1950–1960, chegou a ser responsável por 17,4% do crescimento populacional das cidades, e foi muito importante nas duas décadas seguintes. Na década de 2000–2010, por ter importância diminuta, perdeu ímpeto, quando explicou apenas 3,5% daquele crescimento (ALVES, SOUZA e MARRA; 2011. p81).*

Desse modo, as intensas movimentações antrópicas aceleram o processo de crescimento das cidades, uma vez que esses espaços foram se urbanizando cada vez mais a fim de atender as necessidades estabelecidas pelo adensamento populacional (SANTOS; RODRIGUES, 2015).

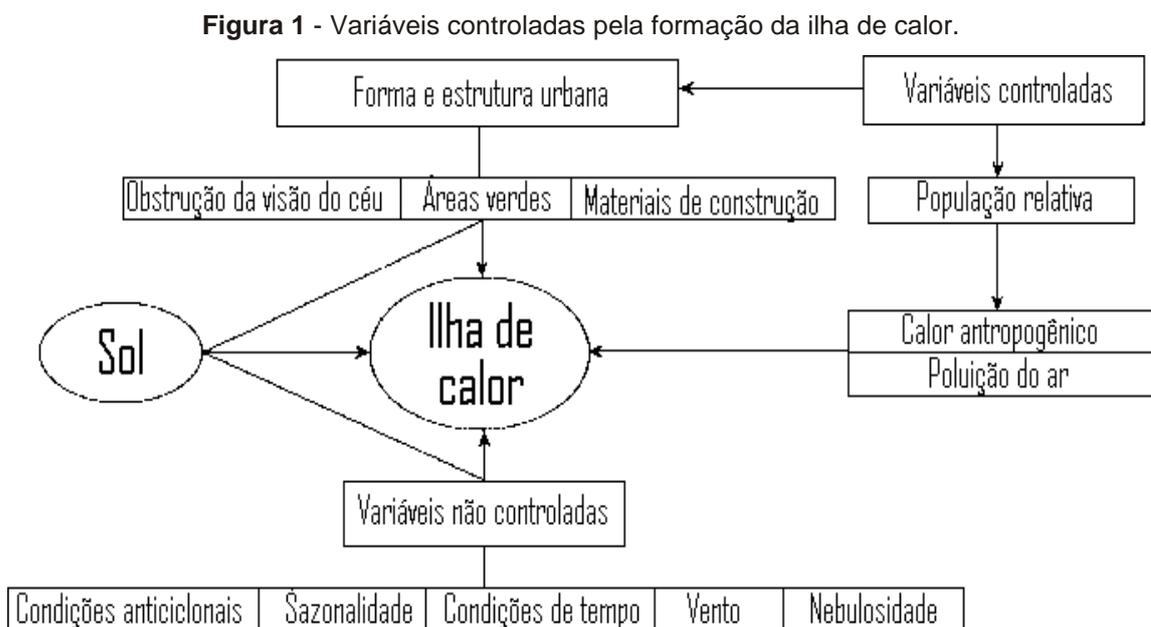
Assim, esse rápido processo de urbanização caracterizou o crescimento das megacidades, que vêm criando desafios em termos ambientais e socioeconômicos, para o planejamento urbano, para os processos de gestão urbana e especialmente para os próprios habitantes (SOUSA *et al.*, 2018). Nesse contexto, Minks (2013) retifica que as áreas que apresentam afluxo descontrolado e maciço de pessoas, têm maiores probabilidades de aparecimento de problemas socioambientais, por meio do adensamento urbano e concentração populacional.

Com o crescimento verticalizado desses espaços e consequente formação das cidades, problemas foram aparecendo de forma concomitante, principalmente aqueles relacionados ao conforto térmico da população. Visto que as áreas de cobertura vegetal foram sendo substituídas por aglomerados residenciais, centros comerciais e inúmeras edificações. A substituição de áreas vegetais por edificações verticais caracteriza um dos principais fatores que contribuem para o aumento da temperatura nessas áreas. Para Freitas e Dias (2015) a oscilação de

temperatura das áreas antropizadas é bastante variável em comparação com áreas com maior vegetação e permeabilidade. Nicodemo e Primavesi (2009) ainda acrescenta que as árvores urbanas por meio da vaporização das moléculas de água, atuam na manutenção da umidade relativa do ar e conseqüentemente reduz as amplitudes térmicas nesses espaços.

Entretanto, o crescimento desenfreado das cidades na maioria das vezes ainda é visto como um símbolo do progresso do mundo moderno, que se distingue do mundo rural, cujo representa a imagem do retrocesso. No entanto, na medida em que as cidades se expandem em tamanho e densidade populacional, as alterações inerentes ao processo de modificação da paisagem afetam as condições essenciais à vida urbana, tais como a água, solo e o ar, que, por conseguinte afeta diretamente as características climáticas nesses espaços (FIALHO, 2012).

Nesse sentido, os mesmos autores corroboram que os fatores responsáveis pelas condições climáticas urbanas, criam características particulares as cidades, que a diferenciam do entorno, tanto assim, que a consequência principal é o surgimento do fenômeno Ilha de calor, que se desenvolve na cidade de acordo com a evolução do processo de crescimento da malha urbana. No qual a forma e estrutura urbana (tamanho da cidade e geometria dos vales e prédios), a velocidade do vento, poluição do ar, sazonalidade etc., auxiliam na formação desse fenômeno (Figura 1).

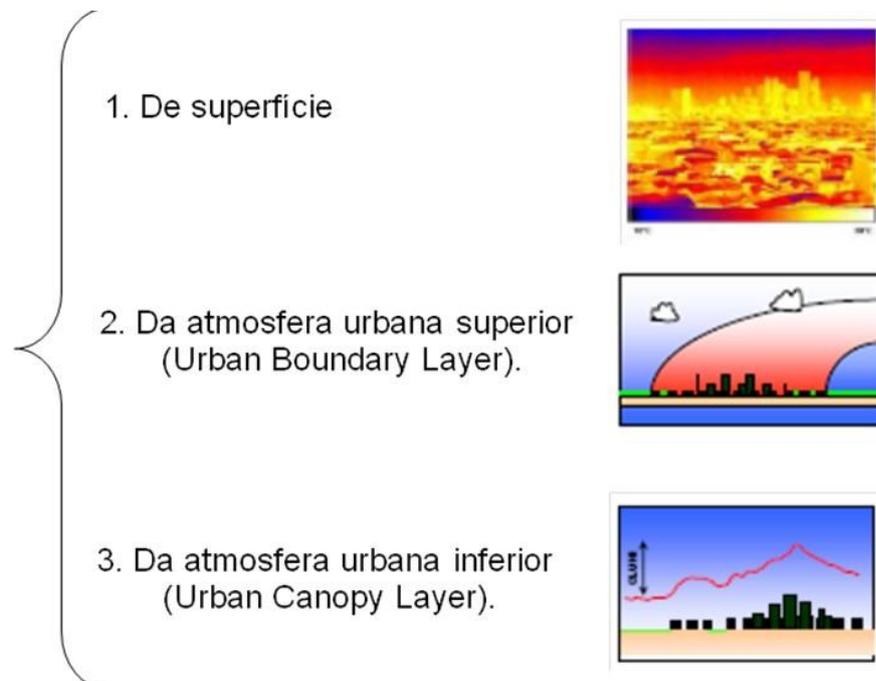


Fonte: adaptado de Rizwan et. al (2008), citado por Fialho (2012).

De acordo com Oke (1978) as ilhas de calor podem ser definidas como uma anomalia térmica que apresenta dimensões variáveis, que se manifesta em formas horizontais, verticais e temporais, cujo suas principais características estão relacionadas com a natureza da cidade (tamanho, densidade de construções, uso do solo) e com as influências externas (clima, tempo e estações). Lombardo (1985) corrobora que o fenômeno corresponde a uma área na qual a temperatura da superfície terrestre se eleva consideravelmente em relação às áreas circunvizinhas, o que propicia o surgimento de circulação local.

Oke (1978) e Arnfield (2003) classificaram as Ilhas de Calor Urbanas - ICU em três tipos, sendo elas, ICU atmosférica inferior, ICU atmosférica superior e ICU de superfície (Figura 2). A ICU de superfície corresponde à radiação emitida pelos alvos da superfície terrestre, que são traduzidos em valores de temperatura a partir da conversão dos valores de radiância. Já no plano vertical ocorre a formação das outras duas camadas, sendo elas a UCL inferior (UrbanCanopyLayer) e UBL superior (UrbanBoundaryLayer). A UCL está situada entre o solo e o nível médio dos telhados (coberturas). Já a UBL localiza-se sobre a UCL, que pode apresentar tamanho e forma variável (TEOBALDO NETO *et al.*, 2017).

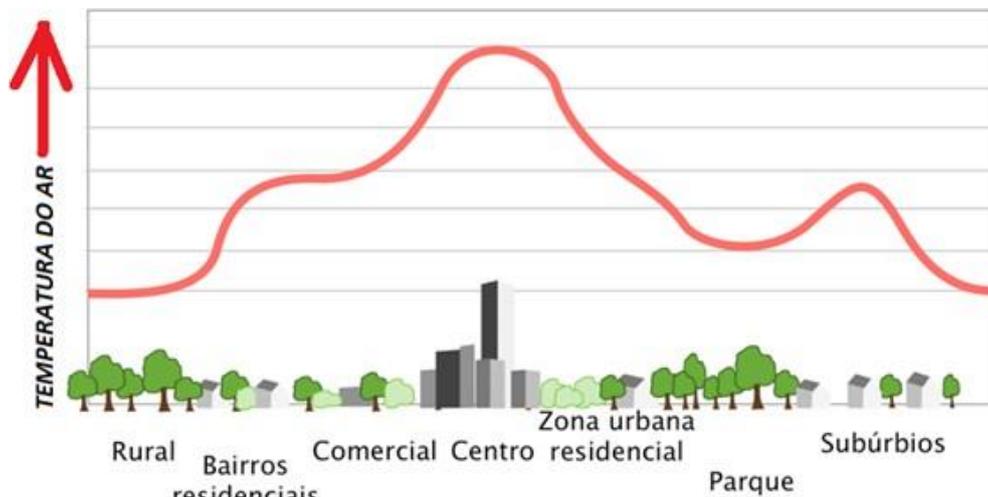
**Figura 2.** Tipos de ilhas de calor.



Fonte: Oke (1978) e Voogt e Oke (1997), citado por Fialho (2012).

De acordo com Oke (1978), em um determinado perfil vertical geral, cuja situação era o céu sem nuvens e pouca intensidade de ventos numa cidade grande, a temperatura tende-se a aumentar na medida em que ocorre um afastamento da região rural e se aproxima da cidade. Na representação, nota-se uma elevação da temperatura no centro comercial da cidade e um decréscimo em movimento contrário, caracterizando picos isolados na temperatura (Figura 3).

**Figura 3** - Perfil de uma típica ICU.



Fonte: Adaptado do esquema de Oke (1978), citado por Neto e Amorim (2017).

Com o avanço desenfreado das cidades e a crescente manifestação do fenômeno, surge então a necessidade de estudo minucioso sobre o comportamento do mesmo. Nesse sentido, diversas pesquisas foram e estão sendo desenvolvidas objetivando a análise comportamental do fenômeno ICU e sua influência nos espaços em que se constitui. Influências significativas que podem ser apontadas são: os problemas ambientais (ocasionado pelo aumento no consumo de energia para reduzir nas residências o excesso de calor, e por consequência maior utilização de recursos naturais para geração dessas energias) e de saúde pública (por meio do desconforto térmico que a população está submetida).

Em concordância com Leandro Filho (2011) o aumento excessivo da temperatura promovido pelas ilhas de calor urbanas, tem resultado em um maior consumo de energia, pois à medida que as temperaturas se elevam, cresce igualmente a necessidade de uso de aparelhos eletrodomésticos como ar condicionados, ventiladores e refrigeradores. Que são bastante utilizados para a refrigeração alimentar, residenciais, repartições públicas e outros.

*Essas mudanças promovem, ainda, o escoamento superficial, a utilização de materiais de construção que absorvem e retêm mais calor, a liberação de gases poluentes na atmosfera por veículos, a dificuldade de dissipar os poluentes produzidos decorrentes da grande quantidade de aglomerados urbanos (casas, prédios, indústrias e etc.), sem contar as áreas verdes que se tornam, praticamente inexistentes (MATOS et al., 2020 p 54.)*

É inegável que o aumento das temperaturas causa uma série de problemas ambientais por modificar o microclima local, uma vez que o clima é um dos principais agentes que sustenta diversas operações ecológicas. Além das relações entre o clima e a saúde.

*A relação entre clima urbano e saúde é mais recente, pois o estudo das alterações climáticas causadas pela urbanização ganhou impulso com uma urbanização mais vigorosa, a partir de meados do século XX, e com a ampliação do tamanho das cidades. Efeitos do espaço urbano nos componentes do clima, como temperatura, umidade, radiação e vento têm sido bem documentados no mundo (RIBEIRO, PESQUEIRO e COELHO, 2016 p.67).*

Em concordância com Ribeiro, Pesquero e Coelho (2016) a bioclimatologia aplicada às cidades relaciona-se com influência do clima urbano no conforto e na saúde. Os mesmos autores corroboram que em relação à saúde, o ambiente térmico, causado pelo aumento das temperaturas nas áreas urbanas, está diretamente ligado a termorregulação e a regulação circulatória, que levam à sobrecarga do organismo e ao comprometimento da saúde, que pode desencadear complicações em nível de óbito (ibidem).

De acordo com Santos e Rodrigues (2015) a saúde pública acaba cada vez mais sendo ameaçada, devido à mudança excessiva de temperatura que traz com ela as doenças cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórias, além de asma e infecções. Para Silva, Ribeiro e Santana (2014) a análise das relações do clima com a saúde humana é de extrema importância, principalmente no que tange as mudanças climáticas globais e na previsão de seus efeitos e vulnerabilidades.

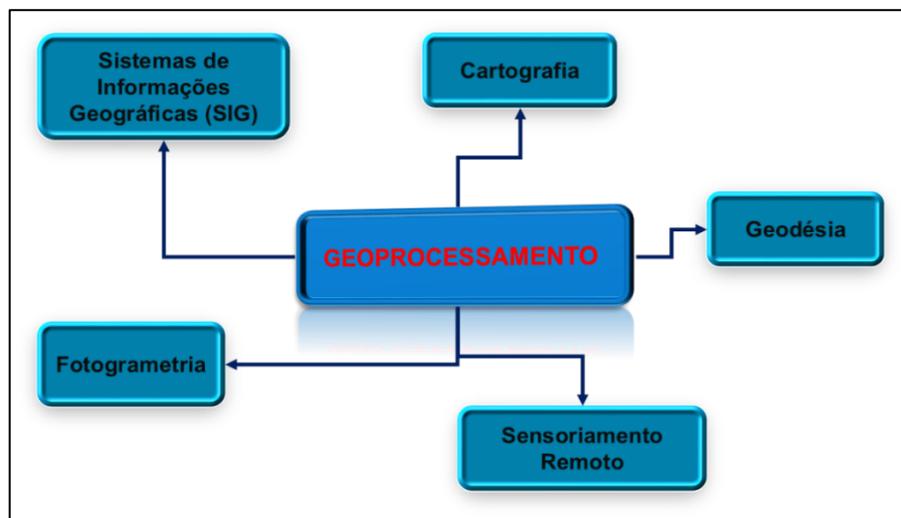
## **2.2. Geoprocessamento aplicado à análise da temperatura superficial**

Com base em Santos (2010), o uso das informações geográficas sempre fez parte da sociedade (mesmo de modo empírico), sendo por meio de cartas, mapas ou outras representações cartográficas. Devido ao fato dessas informações

serem imprescindíveis para inúmeras atividades sociais. Porém, essas representações cartográficas não apresentavam informações geográficas precisas (georreferenciadas), o que inviabilizava diversas atividades e estudos. Desse modo, essa necessidade instigou o aperfeiçoamento dos estudos geográficos, dando início ao geoprocessamento.

Para Tôsto et al. (2014) o geoprocessamento é um conjunto de ferramentas computacionais, composto por softwares e hardware cuja a função é realizar o tratamento e análise de dados geográficos. Brito et al. (2019) corrobora que o geoprocessamento é um instrumento imprescindível para os estudos ambientais, por meio de avaliações espaciais e temporais. Câmara (2001) define que o geoprocessamento representa a ciência que utiliza modelos matemáticos e estatísticos, associados às técnicas computacionais, para o tratamento de informações geográficas. Assim, destaca-se que as ferramentas do geoprocessamento são destinadas as suas múltiplas extensões, conforme representa a figura 4.

**Figura 4** - Representação esquemática do geoprocessamento e suas extensões.



Fonte: SIEG, (2013).

Dentre as extensões do geoprocessamento, destaca-se o sensoriamento remoto como umas das principais ferramentas utilizadas pela comunidade científica. Tendo bastante aplicabilidade nos estudos que envolvem o meio ambiente (BARBOSA e VECCHIA, 2009).

De acordo com Moraes (2002) o sensoriamento remoto pode ser definido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações sobre a superfície terrestre sem a necessidade de contato com essa superfície. Ainda de acordo com o autor, essas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos.

Para Lazarim et al. (2011), a utilização do sensoriamento remoto apresenta como principal vantagem, a geração de parâmetros físicos da superfície terrestre por meio de um conjunto de informações (com alta resolução temporal e espacial) de grandes áreas em um curto período de tempo. Machado (2002) corrobora que essa vantagem é muito importante para o mapeamento, pois sua periodicidade de imageamento em intervalos curtos possibilita realizar uma análise visual e espectral de baixo custo e com alta confiabilidade.

Nessa perspectiva, o sensoriamento remoto (por meio da interpretação dos dados emitidos sobre a superfície terrestre) está sendo bastante utilizado para os estudos climáticos dessa superfície, sobretudo nos ambientes urbanos. Destaca-se que uso de sensoriamento remoto na análise do clima urbano é bem recente, quando comparado às outras áreas do conhecimento, cujo sua primeira publicação ocorreu no ano de 1970 (STEWART, 2011).

*Visando amenizar os problemas da intensificação das temperaturas nos ambientes urbanos, a comunidade científica vem desenvolvendo técnicas de análise, sendo que o sensoriamento remoto se tornou um grande aliado para tais diagnósticos. Nas análises da climatologia urbana, as imagens de satélite podem auxiliar no levantamento da temperatura superficial das cidades, como também na verificação da cobertura vegetal (PORANGABA e AMORIM, 2019 p 2042)*

De acordo com Barbosa e Vecchia (2009), o Sensoriamento Remoto captura dados de infravermelho termal que permite analisar as características térmicas e seu comportamento. Destaca-se que o uso dessa ferramenta nos estudos da temperatura superficial depende da disponibilidade de imagens espaciais para o referido período de análise (TSUYUGUCHI *et al.*, 2010).

Conforme Miranda, Neto e Bortoli (2017) dentre as metodologias mais utilizadas para análise da formação de ilhas de calor urbana por meio do geoprocessamento, destaca-se a análise climática da superfície por meio de imagens termais do sensor Landsat 5 TM. Que junto a essas imagens analisa-se a

conformação da cobertura vegetal urbana pelo o Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) e espacializações sobre o uso do solo, por meio de mapas temáticos. Os autores retificam que umas das explicações para a reincidência metodológica seria a facilidade de aquisição das imagens (por serem gratuitas) e também por expressarem confiabilidade nos dados.

De acordo com Barbosa e Vecchia (2009), a utilização de imagens orbitais por meio dos dados de infravermelho termal, permite analisar a dinâmica comportamental das temperaturas sob diferentes tipologias de cobertura do solo. Já o NDVI por meio das imagens, permite avaliar o vigor vegetativo dos estágios sucessionais da vegetação, bem como identificar as áreas sem cobertura vegetal (LIMA *et al.* 2013). Assim, ambos os resultados são relacionados e interpretados face à dinâmica da temperatura local.

Desse modo, salienta-se que o tratamento das imagens termais e de cobertura do solo, é realizado por meio de softwares computacionais especializados, como por exemplo, ArcGis, Qgis, e Envi. Sendo imprescindíveis para interpretação e expressão dos resultados.

### **2.3. Estações de baixo custo e o monitoramento da formação de ilhas de calor**

Dentre as diversas metodologias de avaliar a formação e o comportamento espacial e temporal das ilhas de calor, ressalta-se a metodologia que envolve o uso de estações meteorológicas de baixo custo. É importante salientar que essas estações vêm sendo bastante utilizada como instrumento de avaliação climatológica em diversos estudos científicos. Segundo Sousa, Antunes e Cabral (2015), as estações meteorológicas experimentais de baixo custo apresentam grande aceitação entre a comunidade científica, principalmente por expressarem resultados confiáveis, e por seu valor de aquisição ou construção ser de custo bem baixo, em torno de R\$100,00 (cem reais) aproximadamente.

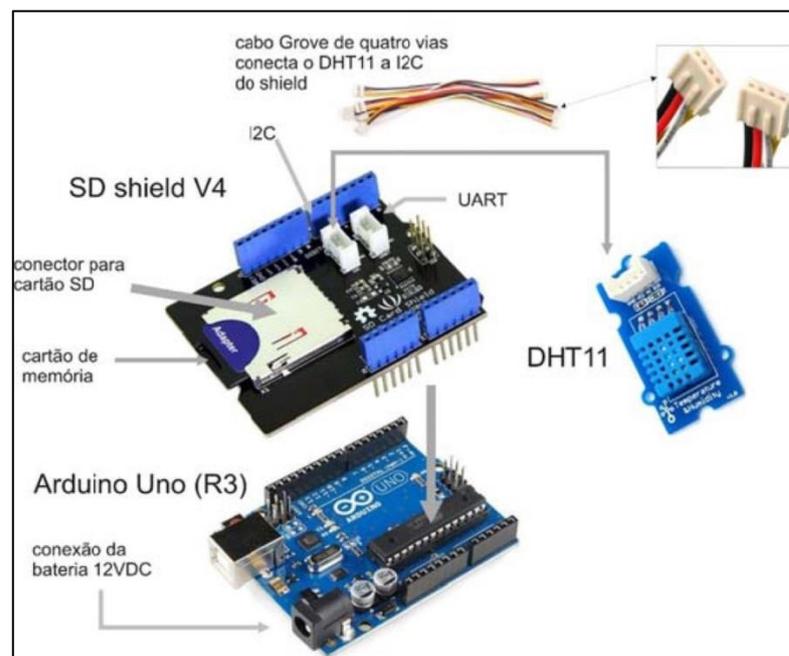
A utilização dessas estações se torna extremamente necessária para avaliação precisa da temperatura, principalmente quando se retrata de uma caracterização a nível local. Uma vez que a maioria das estações meteorológicas existentes nas cidades não fornecem informações suficientes para simular a distribuição espacial das temperaturas urbanas (GALEAZZI, CORBELLA E DRACH, 2020). Gartland (2010) ainda acrescenta que essas estações que são de distribuídas

nos municípios, são em pequenas quantidades e em sua maioria são dispostas em altitudes que apenas caracterizam a situação climática regional (sem influências locais), o que não representa as temperaturas abaixo do dossel urbano a uma altura de aproximadamente 1,5 metros do nível da rua.

Nesse sentido as estações meteorológicas de baixo custo surgem como uma alternativa científica viável para suprir essa carência. Em que as mesmas podem ser adquiridas ou confeccionadas facilmente e serem amplamente distribuídas. Destaca-se que os materiais necessários para essas estações podem ser de resíduos sólidos reutilizáveis (tubos PVC, formas plásticas, chapas dobráveis de alumínio) e outros poucos materiais para acoplamento, fixação, vedamento etc.

Ressalta-se que os dados das variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade etc.) são coletados por meio de sensores conectados em uma placa Arduino capaz de fornecer informações em tempo real pela rede. De acordo com Santos, Amorim e Dereczynski (2017) a placa Arduino é uma plataforma versátil para a prototipagem eletrônica, de hardware livre, baseada em um micro controlador Atmel AVR, com várias portas de entrada e saída de dados, digitais e analógicos (como pode ser observado na figura 5).

**Figura 5** - Representação esquemática da unidade de medida e armazenamento de dados da miniestação meteorológica com placa Arduino.



Fonte: Santos, Amorim e Dereczynski (2017).

Nesse sentido, ressalta-se que essas estações meteorológicas de baixo custo podem ser utilizadas nas diferentes áreas da geografia e climatologia, como ferramenta de pesquisa, além de se constituir como um instrumento metodológico aplicável em diversas áreas da educação (GALEAZZI, CORBELLA E DRACH, 2020). Complementa-se que os dados coletados pelas estações podem ser tratados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) e representados em mapas temáticos indicando a presença de ilhas de calor nas áreas rurais e, sobretudo urbanas. Indicando os locais com maiores necessidades de intervenções ambientais.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

Identificar a presença de ilhas de calor na cidade de Maracanaú-CE, com a utilização de estações meteorológicas de baixo custo, e o uso das ferramentas de geoprocessamento como instrumento metodológico de identificação e expressão dos dados.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Desenvolver um programa em Java para aquisição de rasters de temperatura da superfície e uso do solo no Google Earth Engine - GEE;
- Identificar locais que são suscetíveis a formação de ilhas de calor através dos resultados extraídos do GEE;
- Criar mapas de temperaturas de superfície;
- Desenvolver a plataforma de coleta de dados para armazenamento do microcontrolador, sensor e datalogger;
- Programa em C que se comunique com o microcontrolador e o datalogger para aquisição de dados de temperatura e umidade;
- Resultar os dados das estações em tabelas e mapas;
- Comparar os mapas de temperatura obtidos por meio de sensoriamento remoto com o mapa resultante dos dados das estações.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Para Gartland (2010) medir uma ilha de calor corresponde em analisar o clima regional, assim existem cinco métodos comumente utilizados para se realizar o estudo sendo eles: estações fixas, transectos móveis, sensoriamento remoto, sensoriamento vertical e balanço de energia. Desta forma esta pesquisa baseia-se em dois dos cinco métodos citados, para isso dividiu-se as atividades em três etapas, sendo a primeira referente a análise por sensoriamento remoto, a segunda pela utilização de estações fixas e por fim a correlação com os dados obtidos pelas duas metodologias.

A etapa de sensoriamento remoto corresponde ao processamento de imagens de satélite, por meio de um algoritmo em Java aplicado na plataforma Google Earth Engine GEE com o objetivo de aperfeiçoar rotinas e a facilitar a elaboração de mapas em softwares de geoprocessamento. Os resultados encontrados são expressos em mapas e gráficos para análise.

O uso das estações fixas dá-se pela construção de estações meteorológicas utilizando-se de dispositivos de baixo custo e material reutilizável. nesta etapa a utilização do microcontrolador Arduino e sensores de temperatura medem e armazenam os dados em cartão de memória. Gartland (2010) define que a escolha do local para implementação das estações deve conter características parecidas como: terreno, clima e tipos de construções. Assim, buscou implantá-las em locais similares e a uma altura aproximada de 3 metros do solo, de forma a proteger o experimento de curiosos que possam vir danificar a coleta dos dados.

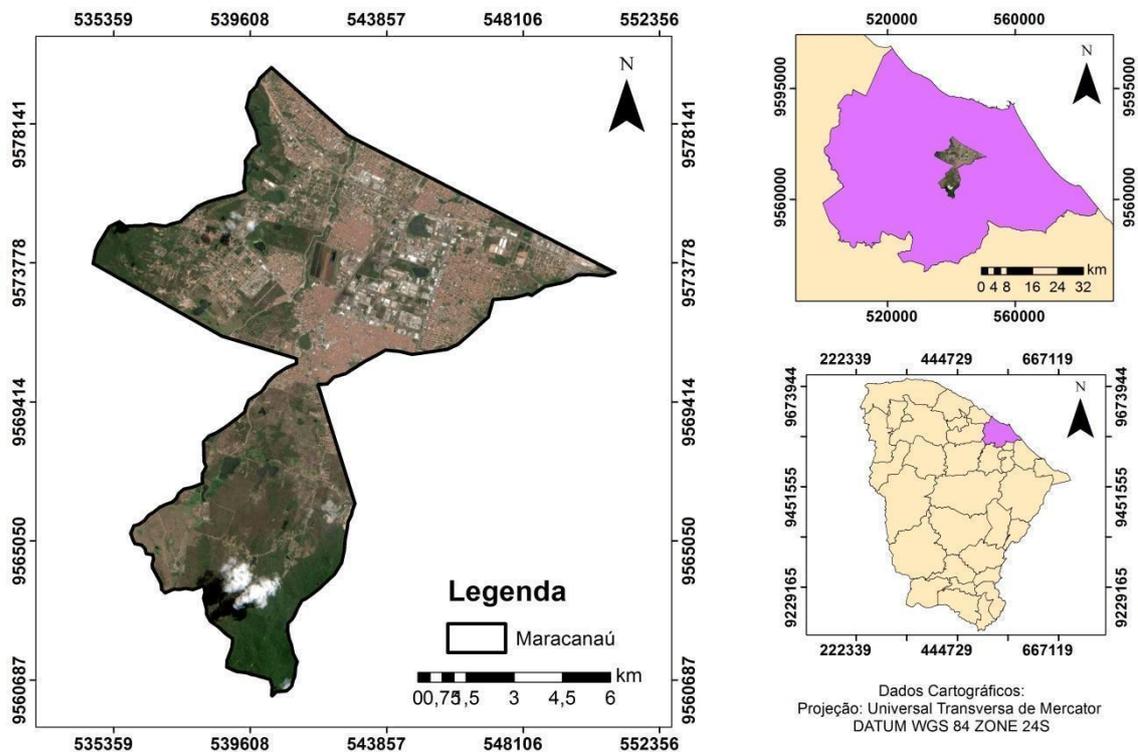
Os resultados desta etapa são expressos em tabelas e para efeitos de comparação é utilizado um mapa de temperatura. A metodologia de identificação de ilhas de calor baseia-se na comparação entre as temperaturas de diferentes estações. Fernández García (1996) com base nessa diferença classificou as ilhas quanto a sua intensidade, assim quando as temperaturas estiverem variando entre 0° C a 2°C a intensidade configura-se como ilha de calor de fraca magnitude, entre 2,1°C e 4°C têm-se de média, 4,1°C e 6°C de intensidade forte e acima de 6°C muito forte.

#### 4.1. Caracterização da área

O estudo foi realizado no município de Maracanaú – CE (Figura 6), que está localizado entre a latitude  $3^{\circ}52'36''\text{S}$  e longitude  $38^{\circ}37'32''\text{W}$  que abrange uma população em torno de 224.804 habitantes com densidade demográfica de 1.877,75 hab/km<sup>2</sup>, sendo 57.955 domicílios urbanos e 374 rurais (IPECE, 2017). O clima da região é classificado segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2017) e o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2017), como tropical quente sub-úmido.

A vegetação predominantemente é de Caatinga Arbustiva Densa, Complexo Vegetacional da Zona Litorânea, Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial e Floresta Subperenifólia Pluvio-Nebular. A temperatura média varia de  $26^{\circ}$  a  $28^{\circ}\text{C}$ . Pluviosidade média anual de 1.399,9 mm, com período chuvoso distribuído entre os meses de janeiro a maio (IPECE, 2017).

**Figura 6** - Mapa de localização da área de estudo.



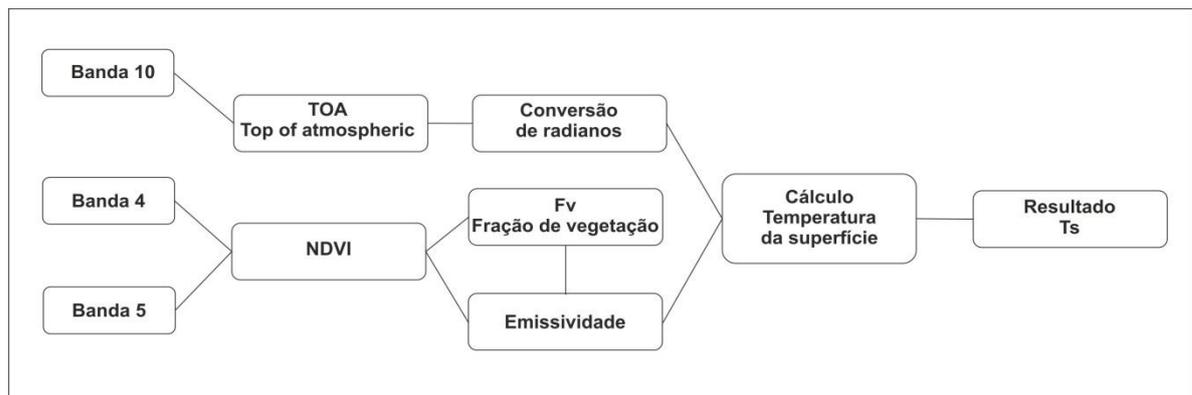
Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.2. Etapa 1 - Sensoriamento remoto

### 4.2.1. Temperatura de superfície

A primeira etapa do sensoriamento remoto, consiste na análise da região por meio de sensoriamento remoto, utilizando-se de 37 cenas do satélite (Landsat 8) com resolução espacial de 30m referente ao ano de 2010. O objetivo principal é identificar e caracterizar a área de estudo sobre os seguintes aspectos: uso e ocupação e temperatura de superfície. Assim, para realização desta etapa desenvolveu-se um código em Java na plataforma Google Earth Engine, utilizando-se de uma adaptação da metodologia de Avdan e Jovanovska, (2016) conforme ilustrado na Figura 7.

**Figura 7** - Procedimentos para obtenção de temperatura de superfície utilizando imagens LANDSAT8.



Fonte: adaptado de (AVDAN; JOVANOVSKA, 2016).

O procedimento de Avdan e Jovanovska, (2016) é descrito como NDVI Threshold Method (NDVI<sup>TM</sup>), esta metodologia consiste na utilização do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para aquisição dos dados de emissividade.

Neste procedimento NDVI e a Emissividade tem forte referência com o solo e a umidade da região e a assim com base em álgebra de mapas a temperatura de superfície é obtida com uma maior resolução, tendo em vista a utilização da banda termal do satélite (HEINZ *et al.*, 2017). A aplicação para o cálculo da temperatura da superfície, utiliza-se da Banda termal B10 com comprimento de onda

entre 10.60 - 11.19  $\mu\text{m}$ , banda do vermelho B4 com comprimento de onda de entre 0.64 - 0.67  $\mu\text{m}$  e a banda do infravermelho próximo B5 com 0.85 - 0.88  $\mu\text{m}$ .

Visando a automatização do procedimento para obtenção de resultados mais rápidos utilizou-se do Google Earth Engine - GEE, que realiza o pré-processamento da atmosfera reduzindo etapas e possibilitando trabalhar com séries temporais e de forma instantânea, assim o código escrito em linguagem de programação JAVA apêndice A, detém das seguintes etapas:

- Mascarar nuvens: este procedimento utiliza-se de linhas de código disponibilizado na aba exemplos da plataforma do GEE, a operação realiza um processo de empilhamento de múltiplas cenas a depender de intervalo de tempo pré-determinado. O procedimento exclui os valores de pixels que caracterizam a presença de nuvens, desta forma, ao realizar a álgebra de mapas por meio do comando `.median`, tem-se a visualização de um raster em que os valores de pixel referem-se a uma mediana de um conjunto de imagens que ausenciam o pixel referente a nuvem e sombra de nuvem.
- Cálculo do NDVI – Índice de vegetação por diferença normalizada; O NDVI é um índice muito utilizado em diversos trabalhos que avaliam a condição da vegetação, sua distribuição espacial e sua evolução ao longo do tempo (BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO 2017). Para a operação do NDVI, faz-se necessário a utilização da banda do infravermelho próximo B5 e a banda do vermelho B4, por meio da equação 1.

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4} \quad (1)$$

Onde:

B5 = Banda do infravermelho próximo

B4 = Banda do vermelho

O resultado dessa operação é um raster com valores de pixel próximo a 1 correspondendo a presença de vegetação, enquanto que valores próximos a -1 apontam para ausência de vegetação (BARBOSA; CARVALHO; CAMACHO 2017).

- Cálculo do FV – Fração da vegetação;

De acordo com Wang *et al.* (2015) para o cálculo de FV pode-se utilizar dos limites do NDVI obtidos na etapa anterior por meio de seu histograma, assim utilizando-se dos valores máximo e mínimo que corresponde a solo coberto por vegetação e solo nu referente a cena de estudo, aplica-se a seguinte equação 2:

$$FV = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (2)$$

Onde:

FV = Fração da Vegetação

NDVI = NDVI

NDVI min = Menor valor de pixel do NDVI

NDVI max = Maior valor de pixel do NDVI

- Cálculo de Emissividade

A pesquisa de Sobrino *et al.* (2004) destaca que para aplicação desta etapa, faz-se necessário obter valores de emissividade para o solo e para a vegetação, porém os valores para solo são bem complexos, devido a uma enorme variação. Assim, em sua pesquisa, Sobrino *et al.* (2004) chegou a bons resultados utilizando-se de um valor mediano para emissividade do solo dentre vários valores disponibilizados pela Biblioteca de espectros da NASA. Com o resultado equação 3 se configura desta forma:

$$E = 0,004x FV + 0,986 \quad (3)$$

Onde:

E = Emissividade

FV = Fração de vegetação

0,004 = Valor médio para emissividade do solo.

0,986 = Valor médio para emissividade da vegetação.

- Cálculo de temperatura da superfície;  
Com a emissividade da superfície corrigida a temperatura da superfície pode ser calculada por meio da equação 4 descrita por Stathopoulou *et al.* (2007):

$$T_s = \left( \frac{B_{10}}{1 + 0,00115 \cdot \frac{B_{10}}{1,438} \cdot \ln(E)} \right) - 273,15 \quad (4)$$

$T_s$  = Temperatura da superfície

$B_{10}$  = Banda Termal

$E$  = Emissividade

A equação acima já inclui a conversão da temperatura de Kelvin para Celsius.

- Exportação do raster para elaboração dos mapas.  
A etapa final do código realiza um recorte da área de estudo e exporta o raster para o google drive. Por conseguinte o raster é carregado em software de geoprocessamento para criação de Grids e Legendas.

#### 4.2.2. Uso e Ocupação

Para os estudos de uso e ocupação utilizou-se do classificador Random Forest que se utiliza de árvores de decisão para verificar e classificar cada pixel presente na imagem (ROSA, 2018). O código foi implementado na plataforma do GEE (Apêndice B), com objetivo de automatizar o processo já que a plataforma utiliza-se dos dados em nuvem, otimizando o tempo com resultados rápidos.

Para a etapa de operação utilizou-se de 100 árvores de decisão, realizou-se o processo de coleta de amostras separando-as conforme as classes: água, vegetação e área antropizada que corresponde a áreas agrícolas, solo exposto e área urbana. Os resultados retornam um raster de uso do solo para geração do mapa de uso e ocupação em programas de geoprocessamento. Com a utilização do mesmo algoritmo e por meio do raster resultante elaborou-se um mapa do avanço da antropização para os anos de 2020 e 2014, assim através de uma subtração entres os dois mapas tornam-se evidentes os locais onde ocorre o crescimento da antropização na região.

### 4.3. Etapa 2 – Estações de coleta de dados

Os procedimentos abordados neste tópico se subdividem em duas sub etapas, na primeira caracterizada pela concepção do projeto físico como o abrigo do microcontrolador e sensor e o segundo refere-se à concepção do projeto eletrônico, e de seu código computacional.

#### 4.3.1. Concepção da estação

O modelo de estação é baseado no trabalho de Santos, Amorim e Dereczynski (2016), onde o mesmo utilizou-se de tubos de PVC para confeccionar o abrigo do microcontrolador e sensor. Visando redução de custos a estação utilizada neste experimento é similar a utilizado por Santos (2016), porém com adaptações que possibilita medições por um longo período utilizando-se da rede elétrica como alimentação sem a necessidade do uso de baterias. O modelo adaptado se configura conforme (Figura 8).

**Figura 8** - Estação de coleta de dados.



Fonte: Acervo autor.

Todas as estações são elaboradas de maneira a facilitar o transporte, sua montagem e desmontagem. Assim em A utiliza-se de uma bandeja plástica para impedir que a radiação incida diretamente no sensor, fixada com cola bastão em B

que é um terminal de ventilação para esgoto de 100 mm, este material tem brechas que possibilitam a circulação do ar por dentro da estação. Um tubo PVC branco de 100 mm e com 1,5 m de comprimento foi serrado e dividido em 6 partes de 15cm, assim cada pedaço de 15 cm corresponde a parte C que é o local onde abriga-se o microcontrolador e o sensor. A sobra de material foi armazenada para reposição, caso ocorresse danos a alguma das estações.

A parte C encaixa com a parte D que é uma tampa para tubos de 100 mm, por conseguinte encaixa com E sendo uma tampa para tudo de 50mm, elas fazem a junção entre o casco da estação e a haste de fixação da estrutura E com a estrutura F correspondendo a um tubo de PVC de 50 mm. Utilizou-se 3 metros de tubo para confecção da haste de sustentação do abrigo do sensor sendo serrado em diferentes tamanhos de acordo com a necessidade do local em que a estação iria ser implantada.

Para confeccionar a estrutura de fixação de todo conjunto da estação utilizou-se de alumínio proveniente de latinhas de refrigerante. Foram utilizadas 6 latinhas uma para cada estação, sendo cortadas, dobradas em formato retangular e afixadas exercendo pressão contra F por parafusos e buchas conforme apresenta-se em G. A (Figura 9) apresenta a parte interna da estação e a disposição do sensor e microcontrolador.

**Figura 9** -. Abrigo do sensor.



Fonte: Acervo autor.

O abrigo do sensor corresponde um tubo de PVC de 50mm serrado em um comprimento de 6cm, uma tampa de 50mm e um suporte de alumínio em formato de L cortado, dobrado e parafusado entre o casco de armazenamento do

microcontrolador e a tampa do tubo que armazena o sensor. Para evitar a incidência de radiação direta ao sensor foi utilizado papel alumínio envolto ao tubo de 50mm para que aumentasse a refletividade da superfície conforme descreve Santos; Amorim e Dereczynski (2016). A (Figura 10) demonstra a etapa em que foi realizado o corte dos tubos e a preparação das estações.

**Figura 10** - Confeção das estações.



Fonte: Acervo autor.

#### 4.3.2. Concepção do projeto eletrônico

Para realizar o monitoramento da temperatura do ar, utilizou-se de seis micro controladores Arduino, seis módulos sensores de temperatura e umidade do modelo DHT11, 6 módulos dataloggers e 6 fontes de tensão de 220V/12V, além de protoboard, jumpers e LEDs. O objetivo dessa etapa do projeto é a construção de um data logger que funcione em conjunto com o micro controlador Arduino (figura 11).

**Figura 11** - Microcontrolador arduino.

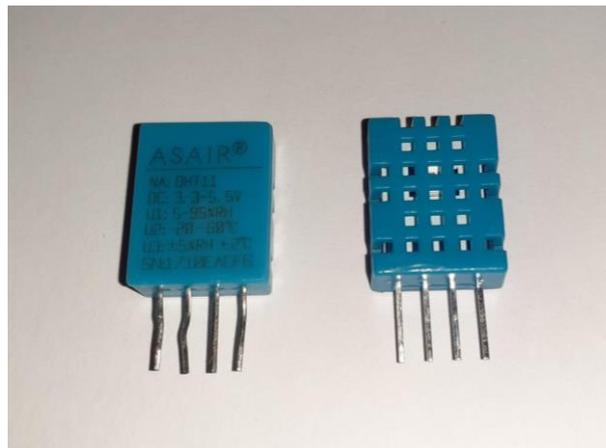


Fonte: Acervo do autor.

Para Ribeiro, Souza e Novaes (2017), o Arduino é um micro controlador de baixo custo que tem seu funcionamento por códigos de fonte livre (linguagem C/C++), podendo ser programado para executar diversas funções. Tem a capacidade de controlar diversos tipos de sensores, sejam com sinal digital ou analógico, tudo através de sua programação que é realizada em um computador e carregada para o Arduino através de cabo USB.

Para medição de temperatura os sensores utilizados no projeto foram escolhidos conforme preço, confiabilidade e range de temperatura, realizou-se uma pesquisa de mercado consultando datasheet dos disponíveis e verificou-se que o mais se adequa às condições de projeto prezando pelo baixo custo foi o modelo DHT11, (Figura 12).

**Figura 12** - Sensor DHT11.



Fonte: Acervo do autor.

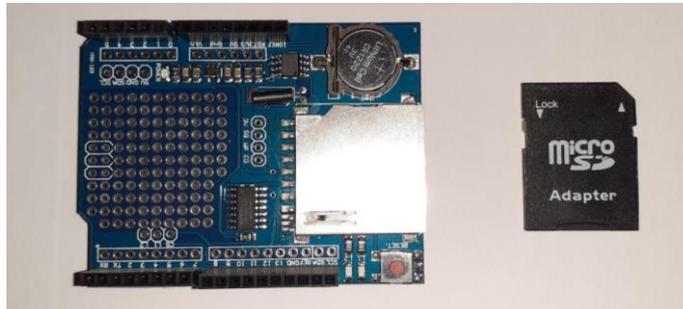
O DHT11 possui um medidor de umidade capacitivo e um termistor NTC que ao aquecer diminui sua resistência permitindo assim sua leitura de forma analógica por meio do microcontrolador. O componente se ativa ao aplicar uma tensão entre 3 a 5,5 Volts em corrente contínua, tendo um range de temperatura variando entre 0° a 55°C.

A acurácia do sensor caracteriza-se em  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  para temperatura, as características estão descritas no próprio corpo do sensor conforme visualizadas na fotografia 5, mas podem ser consultadas por meio de seu datasheet.

Os dados do sensor são interpretados e processados pelo microcontrolador que por fim os armazena em um módulo datta logger conforme

(Figura 13). Este módulo conta com um RTC Real Time Clock acoplado à placa que permite gravar informações de data e hora das medições.

**Figura 13** - Módulo data logger e cartão SD.



Fonte: Acervo do autor.

Para que haja a comunicação entre os dispositivos citados, faz-se necessário desenvolver um programa em C por meio da plataforma disponibilizada pela própria desenvolvedora do micro controlador. O programa pode ser baixado gratuitamente em seu site na internet. Para que haja comunicação entre os dispositivos faz-se necessário programa-lo, dessa forma desenvolveu-se um código em C baseado nas bibliotecas disponibilizadas por cada dispositivo. Assim as etapas do programa correspondem a: acionar a leitura do módulo data logger, verificar se o cartão de memória encontra-se acoplado, se sim acende LED azul, aciona o sensor DHT11 e realizar a leitura a cada 30 minutos.

Por fim grava data, hora e temperatura em um cartão de memória. Caso acenda o LED vermelho o cartão de memória encontra-se ausente e não se realiza leitura em apêndice C, encontram-se as linhas de comando do código. Os resultados são armazenados em formato de texto podendo ser visualizados em planilhas eletrônicas (Figura 14).

**Figura 14** - Exemplo de dados armazenados em cartão de memória.

```

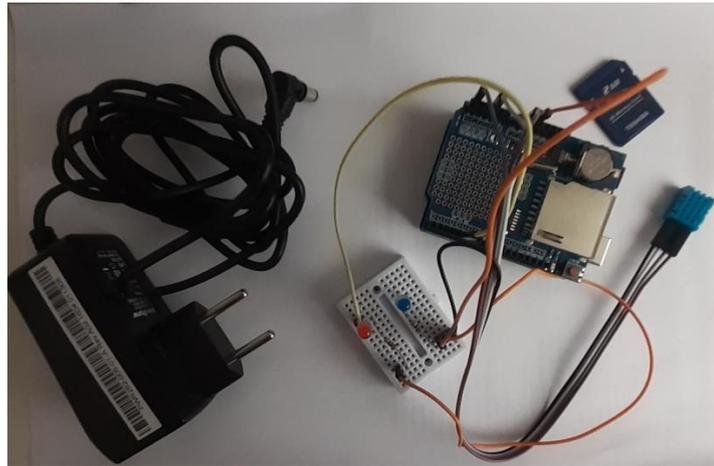
DADOS2 - Bloco de notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
12/01/2021 00:56:52 Temperatura: 27 umidade: 91
12/01/2021 01:26:55 Temperatura: 27 umidade: 91
12/01/2021 01:56:58 Temperatura: 28 umidade: 90
12/01/2021 02:27:01 Temperatura: 27 umidade: 92
12/01/2021 02:57:04 Temperatura: 27 umidade: 92
12/01/2021 03:27:07 Temperatura: 27 umidade: 91
12/01/2021 03:57:10 Temperatura: 27 umidade: 91
12/01/2021 04:27:13 Temperatura: 28 umidade: 90
12/01/2021 04:57:16 Temperatura: 27 umidade: 91
12/01/2021 05:27:19 Temperatura: 28 umidade: 90
12/01/2021 05:57:22 Temperatura: 27 umidade: 93
12/01/2021 06:27:25 Temperatura: 27 umidade: 92
12/01/2021 06:57:28 Temperatura: 28 umidade: 89
12/01/2021 07:27:31 Temperatura: 29 umidade: 85
12/01/2021 07:57:34 Temperatura: 28 umidade: 85

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados obtidos de cada estação resultam em 6 arquivos de texto que utilizando-se de softwares de planilha eletrônicas podem ser expressos em tabelas para análise. A (Figura 15), apresenta os dispositivos eletrônicos incluídos em cada estação.

**Figura 15** – Dispositivos eletrônicos.



Fonte: Acervo do autor.

Além do Arduino e módulos são necessários outros dispositivos para que a estação funcione sendo eles, fontes, LEDs, resistores, mini protoboard, cartão de memória e jumpers os custos de investimento no projeto encontram-se em uma tabela no (Apêndice D).

#### **4.4. Validação dos dados de sensoriamento remoto e estações de baixo custo.**

Uma das formas de validar as informações obtidas pelas duas metodologias para detecção de ilhas de calor é através de uma correlação, assim buscou-se por uma imagem de satélite de mesma resolução utilizada na etapa 1 que correspondente ao mesmo período em que as estações estavam em operação.

Contudo, não foi possível obter uma imagem com nenhuma ou baixa cobertura de nuvens, pois um dos grandes problemas para esse tipo de análise é a presença de nuvens que dificultam a análise da superfície sobre a área de estudo.

Dessa forma, a alternativa encontrada foi à utilização de dados de temperatura da superfície do satélite de observação TERRA que é monitorado pela NASA e tem revisita a cada 2 dias, porém a resolução espacial da banda termal

deste satélite se configura na casa dos 1000 m. O que representará apenas valores aproximados quando comparado com os dados das estações, dessa forma, buscou-se por uma cena limpa sem a presença de nuvens. Sendo a utilizada a imagem do dia 1 de janeiro de 2021 que cobria todo o município.

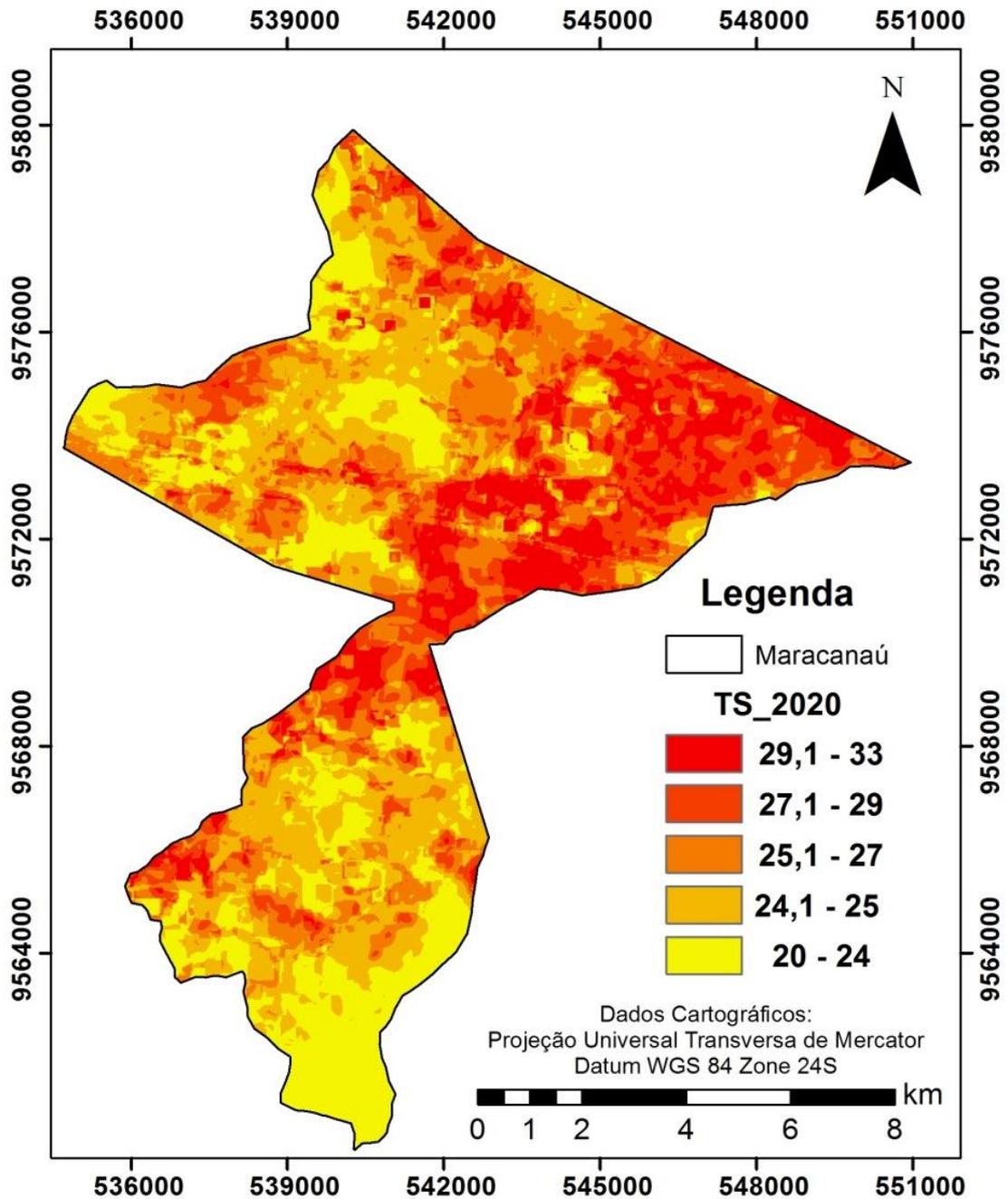
Por meio do GEE utilizou-se de um código que faz uso da banda termal do satélite para exprimir um raster de temperatura da superfície (Apêndice E) na sequência coletaram-se os dados das estações de máxima temperatura diária referente ao dia primeiro de janeiro de 2021. Dessa forma por meio do software Arcgis versão estudante interpolaram-se os dados por meio da ferramenta Inverse Distance Weighting – IDW. Os resultados dos procedimentos resultou em dois mapas que apresentam a variação da temperatura na região, tornando possível a correlação entre as duas etapas.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Análise de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto**

O algoritmo desenvolvido para esta etapa encontra-se disponibilizado em (Apêndice A), e também, podendo ser consultado pela plataforma do Google Earth Engine por meio do link: <https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2FItaloMagno%2FNDVIMC%2Fscriptfinal3>. Ele efetua todas as etapas com êxito segundo os passos descritos na metodologia e o resultado obtido retorna um raster com valores médios de temperatura para um intervalo de um ano definido como 2020. O raster é exportado e fica armazenado na conta do operador no google drive, ressalta-se que por meio do algoritmo é possível exportar rasters de outras variáveis utilizadas no código como a imagem, NDVI, emissividade, etc... Assim realizou-se o download do arquivo de temperatura de superfície que foi projetado em coordenadas UTM por meio do software ArcGis 10.2 para confecção de layout. O primeiro mapa apresenta uma média dos valores de temperatura para o ano de 2020 conforme (Figura 16).

Figura 16 - Temperatura de superfície para o ano de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 16 apresenta a temperatura média da superfície para a cidade de Maracanaú para o ano de 2020, assim ao observar a região nordeste do mapa têm-se regiões com temperatura variando entre 29,1 a 33°C. Essa região concentram a maior densidade populacional, consequentemente esse alto índice está diretamente ligado a alta presença da ação antrópica, por meio de suas edificações

correspondendo a centro comercial, bairros residenciais e industrias conforme (Figura 17) e (Figura 18)..

**Figura 17 - Área residencial.**



Fonte: Acervo autor.

**Figura 18 – Zona comercial.**

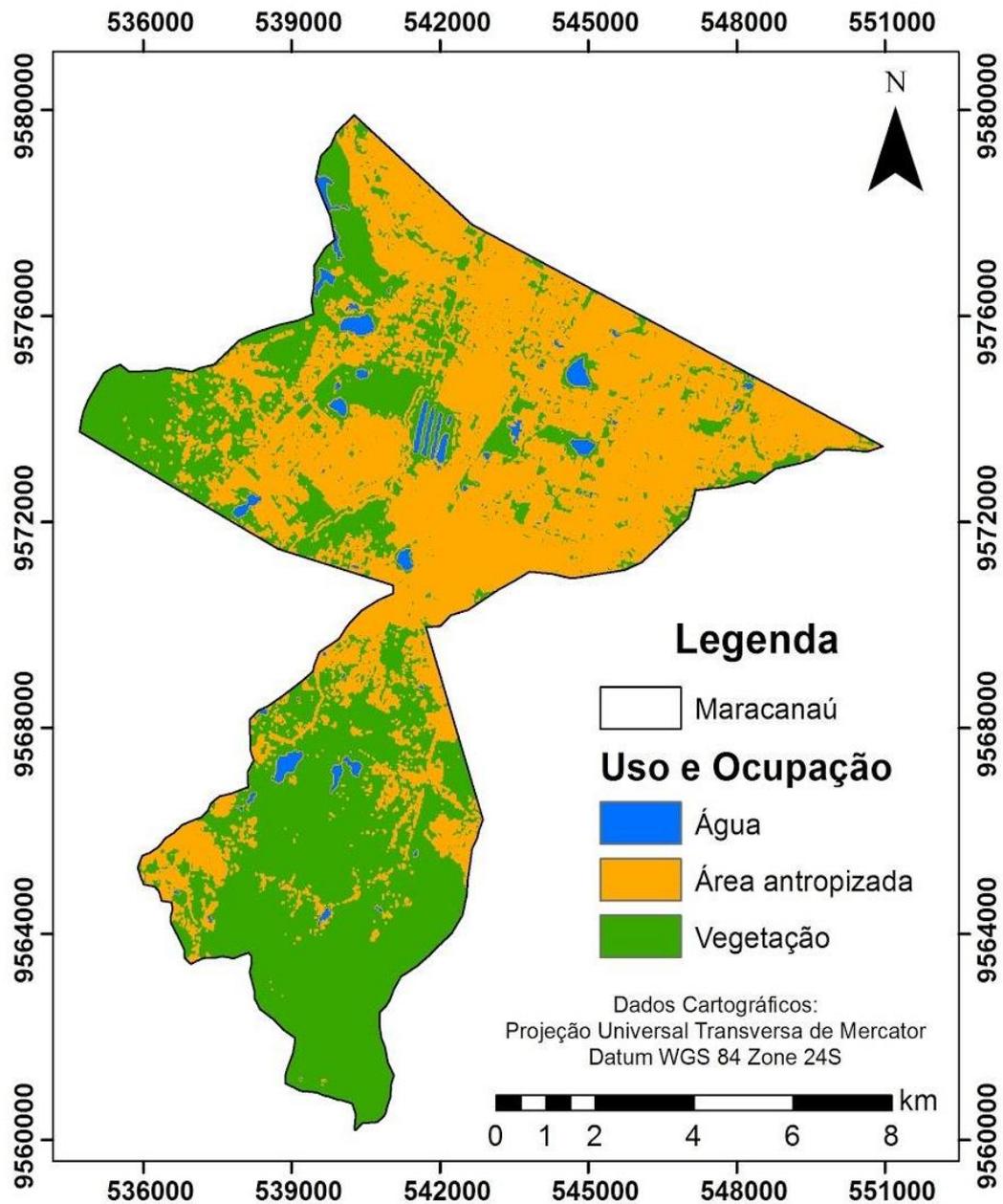


Fonte: Acervo autor.

Áreas urbanizadas tendem a ter temperaturas mais elevadas devido aos materiais utilizados em suas construções, favorecendo o aquecimento do ar e consequentemente o surgimento das ilhas de calor (TRINDADE; SALDANHA; PEREIRA FILHO, 2017). Na região oeste do mapa, as temperaturas variam entre 20°C a 25°C como a incidência de pequenas regiões isoladas com temperaturas de 27° a 33°C. Esses locais são caracterizados pelo avanço da especulação imobiliária, que realizam a remoção da cobertura vegetal deixando o solo exposto para a venda de terrenos. Ao sul do município as localidades apresentam as menores temperaturas variando em torno de 20°C e 25°C, essa característica está ligada a presença de vegetação abundante e a presença de poucas residências. Uma

análise do uso do solo para o município torna esses aspectos mais evidentes (Figura 19).

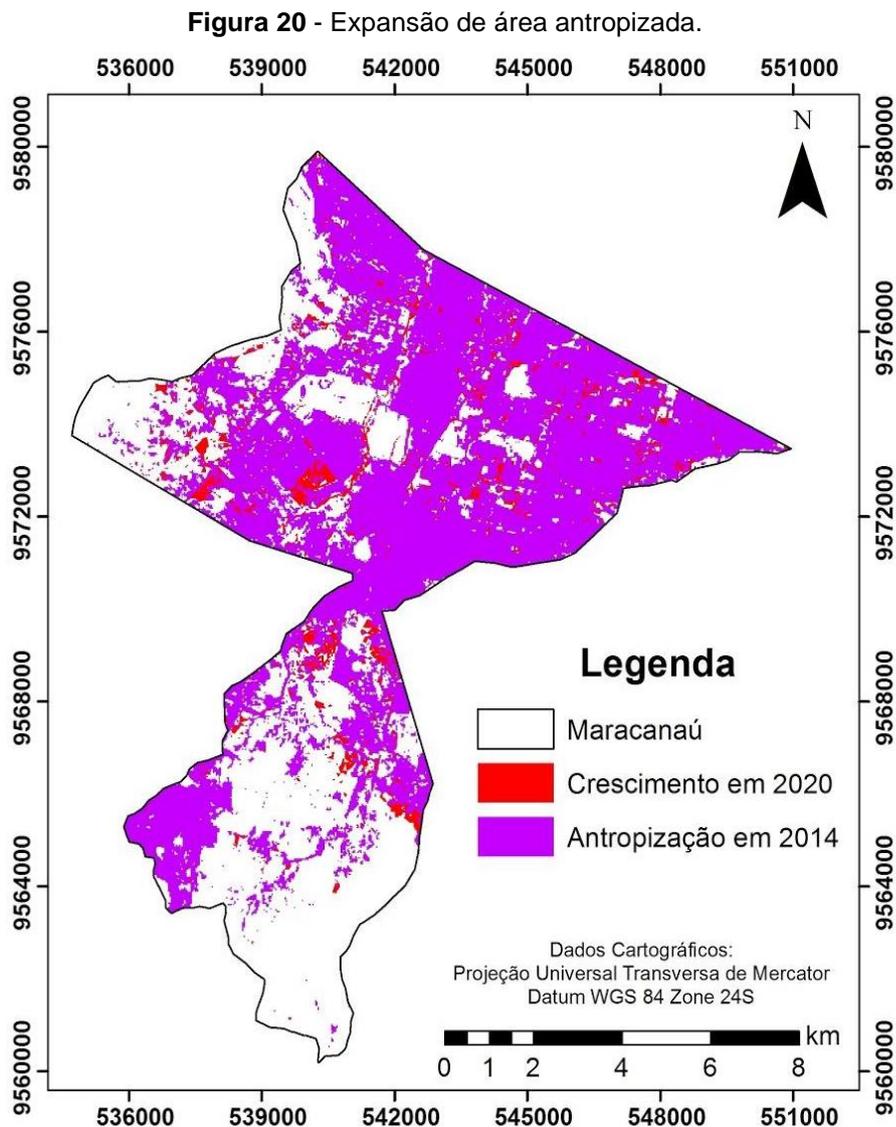
**Figura 19** - Uso e ocupação do solo para o município de Maracanaú-CE, ano de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O mapa de uso e cobertura do solo apresenta a distribuição de classes na área de estudo, o município conta com poucos recursos hídricos correspondendo a 2,25% de todo seu território desconsiderando rio e riachos que cruzam a cidade. Já para a classe de vegetação, tem-se um percentual de área de 48,04%

correspondendo a quase metade do município com porções ao noroeste ao sul. A área antropizada corresponde a um percentual de 49,65%, ou seja, quase metade do município tem ações de interferência humana. Para Neiva *et al.* (2014) cidades de pequeno e médio porte lidam com o aumento da temperatura, assim como as metrópoles, isso se dá principalmente pelo crescimento desordenado das cidades e também pelo uso inadequado do solo. A (Figura 20) apresenta a expansão da área antropizada entre os anos de 2014 e 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No período de 6 anos observou-se que há uma expansão da classe antropizada na direção noroeste e sudoeste do município que conforme mencionado

anteriormente tem-se a especulação imobiliária como uma das principais causas o que consequentemente acarreta em desmatamento e limpeza do solo (Figura 21)

**Figura 21** - Área destinada a venda de lotes.



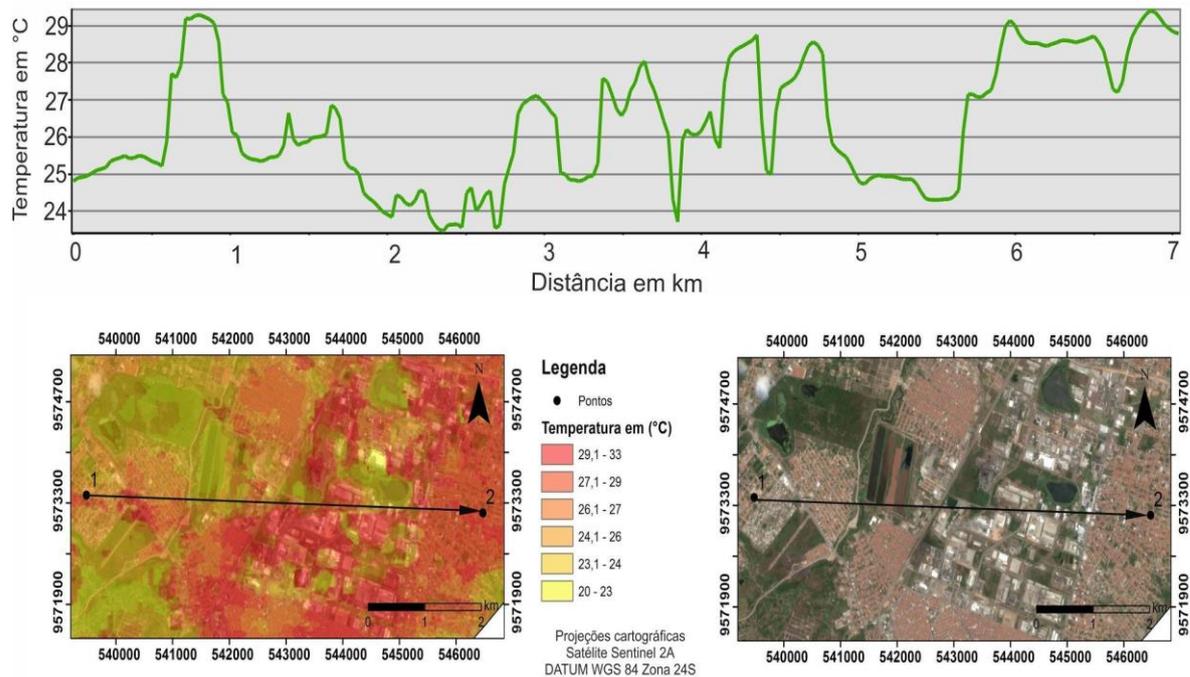
Fonte: Acervo autor.

Ressalta-se que a presença de vegetação contribui para amenizar a temperatura, tendo em vista que as folhas absorvem boa parte da radiação na utilização pela fotossíntese e a copa de árvores e arbustos evitam que ela incida diretamente sobre o solo (COSTA; SILVA; PERES, 2010). Desmatar para dar lugar ao concreto e ao asfalto é o que ocasionalmente ocorre no crescimento das cidades.

Porém estes materiais detêm um alto valor de difusividade térmica ocasionando a penetração mais profunda do calor em suas camadas e mantendo as temperaturas mais constantes sobre eles (GARTLAND, 2010). As presenças dos materiais urbanos tendem a refletir menos radiação incidente devido as suas capacidades radiativas que influenciam diretamente no fenômeno de ilhas de calor em comparação com materiais encontrados em regiões rurais (COSTA; SILVA; PERES, 2010).

Entender o comportamento dos materiais presentes no ambiente urbano, a dinâmica das paisagens e como se configuram terá um papel fundamental para a análise da formação de ilhas de calor. Dessa forma uma das maneiras de se avaliar esse comportamento é por meio de um transecto realizado no mapa de temperatura de superfície entre pontos aleatórios, assim de posse da imagem de temperatura da superfície do ano de 2010 e o uso de software de geoprocessamento atribuiu-se dois pontos equidistantes entre oeste e leste e traçou-se uma reta para verificar de que forma a temperatura se comporta sobre diferentes alvos (Figura 22).

**Figura 22** - Transecto do ponto 1 ao ponto 2 da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 22 apresenta a variação da temperatura em um gráfico que percorre dois pontos no mapa, assim conforme se realiza o percurso, nota-se pelo gráfico que entre 0,5 km e 1km ocorre um aumento acentuado da temperatura variando entre 25°C a 30°C o que condiz com a presença de uma área residencial, logo após as temperaturas tendem a valores abaixo de 24°C entre as distâncias de 1km e 2km diminuindo mais ainda entre 2km e 3km.

Comparando os mapas presentes na figura 22, nota-se a presença de uma estação de tratamento de efluentes. De acordo com Freitas (2017) a presença de um corpo hídrico tende a agir como um termo regulador do ambiente, porém outros estudos devem ser realizados, pois as características locais e no entorno tendem a influenciar na temperatura da superfície. Conforme no trecho correspondendo entre as distâncias de 5 km e 6 km onde há a presença de um corpo hídrico, mas as temperaturas no entorno estão mais elevadas em comparação com os trechos entre 2km e 3km.

Os trechos entre 3km e 5km correspondem a região do distrito industrial do município, tem temperaturas menores em comparação com as encontradas nas áreas residenciais. A explicação pode esta relacionada a presença de vegetação de diferentes formas e tamanhos presentes no entorno das indústrias conforme figura

23, os quilômetros finais adentram uma região residencial voltando a apresentar temperaturas elevadas.

**Figura 23** - Distrito industrial de Maracanaú.

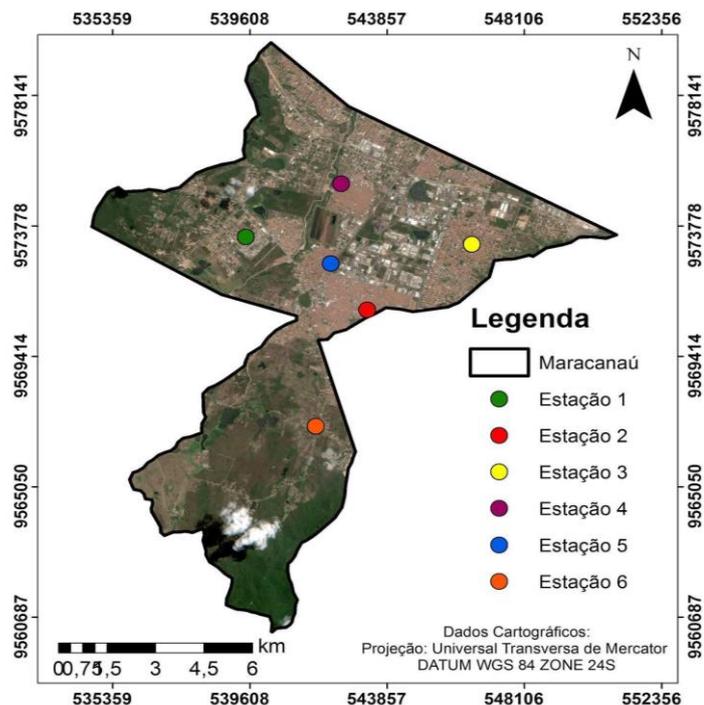


Fonte; Acervo autor.

## 5.2. Análise de ilhas de calor por meio de estações experimentais.

Com base na análise por meio de sensoriamento remoto, buscou-se investigar o comportamento das ilhas de calor ao longo do dia em diferentes localidades do município. Dessa forma implantou-se 6 estações com sensores em locais onde as temperaturas apresentavam maiores intensidades de acordo com a interpretação do mapa de temperatura da etapa anterior (Figura 24).

**Figura 24** - . Espacialização das estações de coleta de dados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A escolha para a implantação das estações ficou condicionada a disponibilidade de eletricidade e de forma que sua distribuição contemplasse boa parte da área de estudo. Assim durante um período de 2 meses as estações coletaram dados de temperatura a cada 30 minutos, durante 24h por dia. As figuras 25 e 26 referem-se a 2 das 6 estações instaladas em campo.

**Figura 25** - Estação de coleta de dados 1.



Fonte: Acervo do autor.

**Figura 26** - Estação de coleta de dados 6.

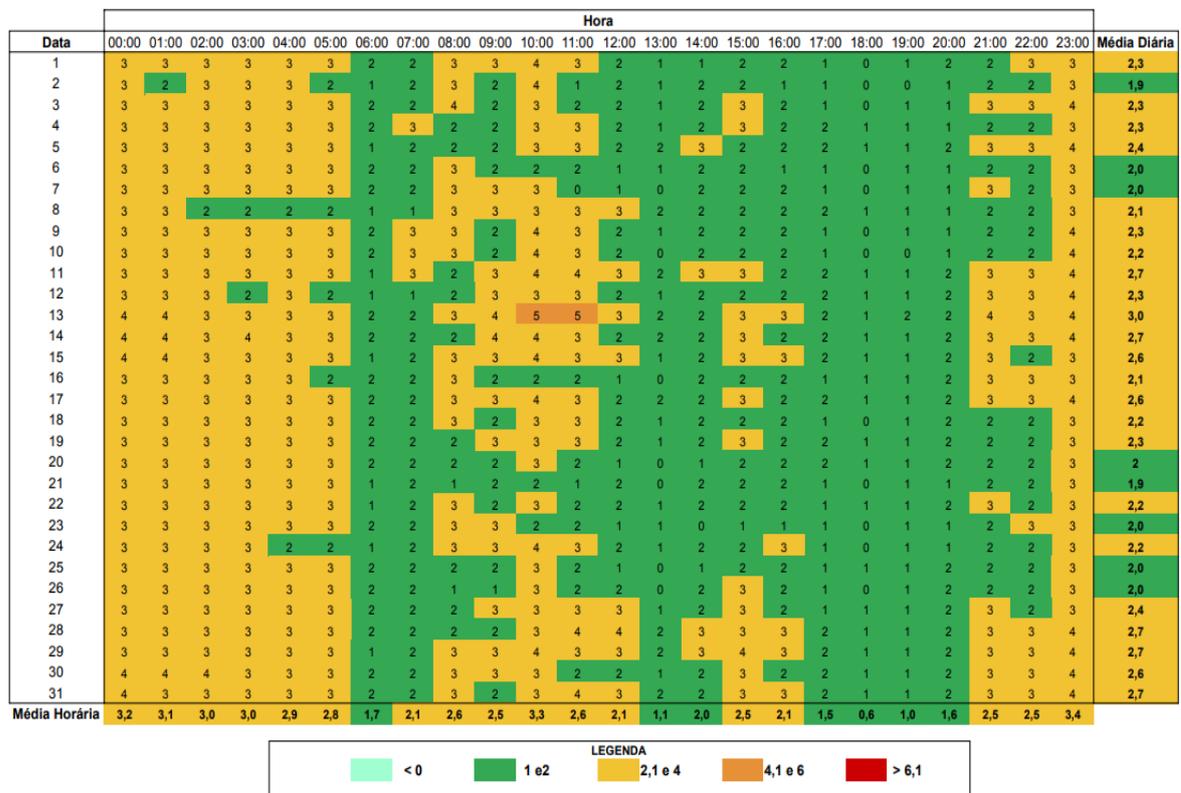


Fonte: Acervo do autor.

As estações eram alimentadas por eletricidade fornecida pelas residências sendo realizado um acordo em que cada morador cedia o espaço e fornecia a energia para que o experimento sem custos. A cada 15 dias realizou-se visitas para manutenção e averiguação do estado dos componentes eletrônicos, assim ao término do período de 2 meses os dados foram coletados em conjunto com as estações para análise.

De posse dos dados e com base na análise de sensoriamento remoto atribuiu-se a estação 6 ao sul do município como estação de referência, já que ela apresentara as menores temperaturas quando comparadas as demais conforme Figura 16. Assim utilizando-se da metodologia de Fernández García (1996), em que a intensidade da ilha de calor relaciona-se com a diferença de temperatura entre o meio urbano e o rural tem-se os resultados para a intensidade de calor na região da estação 1 (Figura 27).

**Figura 27** - Intensidade da ilha de calor para a estação 1 em dezembro de 2020.



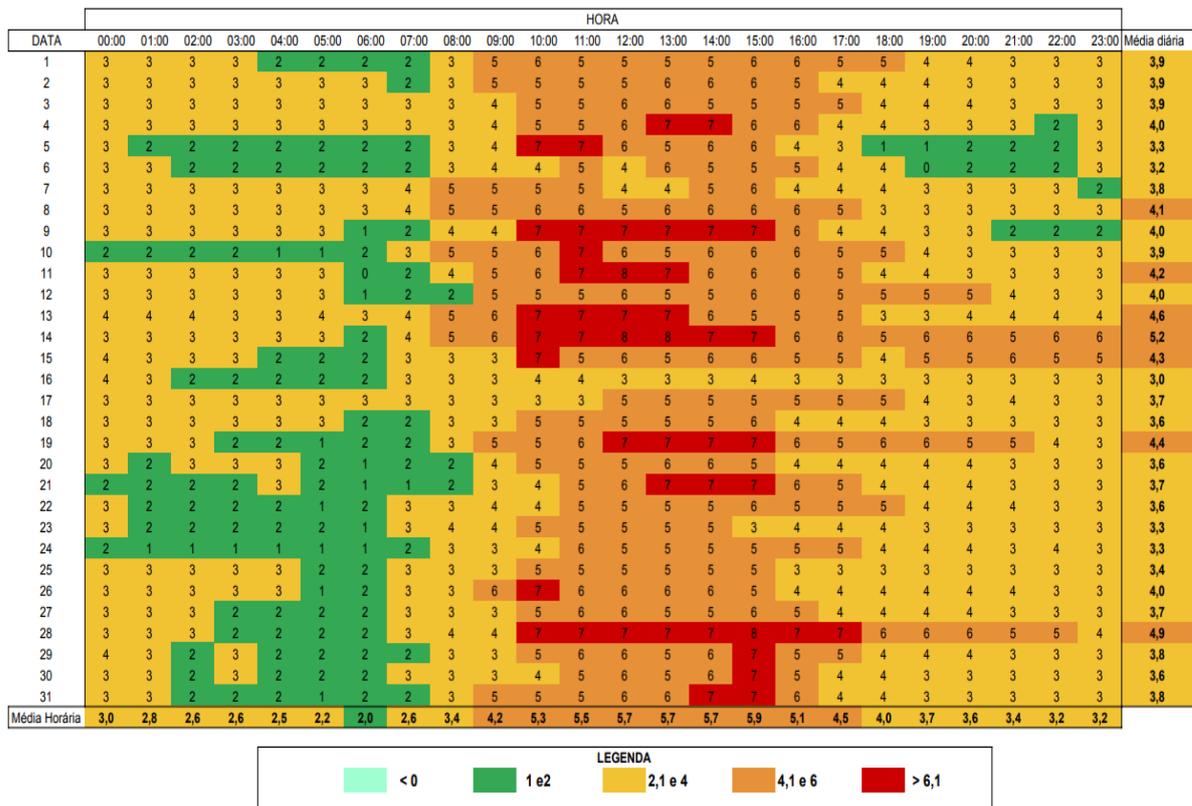
Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 27 caracteriza-se pela diferenciação entre as temperaturas da estação 1 com a 6, observa-se o comportamento de ilhas de calor noturnas em

coloração amarela caracterizadas como de média magnitude com intensidade variando de 2,1°C a 4°C. Comparada com as que ocorrem durante o dia que tem intensidade mais fraca entre 1 e 2 em verde. Percebe-se que durante o dia as variações são mínimas, porém no período noturno elas configuram-se entre média magnitude. Diversos são os fatores que influenciam a temperatura local desde a presença de vegetação, a incidência do vento, a urbanização, condições atmosféricas, dentre outras características (BARROS *et al.*, 2012).

A estação 2 localizada na região de maior densidade demográfica foi a que apresentou a maior variação de intensidades da ilha de calor em comparação com a estação 6 (Figura 28).

**Figura 28** - Intensidade da ilha de calor para a estação 2 em dezembro de 2020.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a figura 28 a intensidade das ilhas de calor tem-se um comportamento elevado durante o período diurno, onde em quase 100% dos dias a intensidade resultou em diferenças entre 4,1 e 6°C caracterizadas como ilhas de calor de forte magnitude. Em alguns dias específicos as diferenças de temperatura se fixaram em até 8°C, tal fato pode esta relacionado a alta presença de concreto,

asfalto e materiais cerâmicos com suas propriedades térmicas como condutividade, capacidade calorífica e difusividade térmica conforme (Tabela 1).

**Tabela 1** - Propriedade térmica de materiais urbanos.

<b>Material</b>	<b>Condutividade térmica (w/m K)</b>	<b>Capacidade Calorífica (J/m<sup>3</sup>/K x 10<sup>6</sup>)</b>	<b>Difusividade térmica (m<sup>2</sup>/s x 10<sup>6</sup>)</b>
Asfalto	0,75	1,94	0,39
Telha cerâmica	0,84	1,77	0,47
Concreto denso	1,51	2,11	0,72
Tijolo	0,83	1,37	0,61
Solo arenoso seco	0,30	1,28	0,23

Fonte: Adaptado de GARTLAND (2010).

Para Incropera (2014) quanto maior o valor de condutividade térmica de um material mais ele conduz essa energia para seu interior. Já materiais com alto valor de capacidade calorífica tendem a armazenar mais calor em seu volume. Essas duas propriedades juntas resultam na difusividade térmica que em altos valores indicam uma maior capacidade de se manter o calor constante, enquanto que em valores menores o calor tende a uma variação mais rapidamente (GARTLAND, 2010). A análise da tabela aponta que o concreto tem alta difusividade térmica comparada ao asfalto o que significa que este material tem um alto potencial de armazenar o calor em sua estrutura e irradiar o mesmo de forma lenta até atingir o equilíbrio térmico, porém a maioria das residências presentes na região da estação dois tem suas edificações construídas com o uso de tijolos para as paredes e para os telhados são utilizados materiais cerâmicos conforme (Figura 29).

**Figura 29** - Fotografia aérea da região da estação 1.



Fonte: Google Earth (2020).

A figura 29 identifica a presença de um adensamento residencial na região de implantação da estação 2 e nota-se a alta concentração de materiais cerâmicos e asfalto, cujo valores de difusividade térmica são 0,39 e 0,47 respectivamente. Assim, comparando os dados da tabela 1 com a figura 28, tem-se que esses materiais tendem a irradiar calor ao mesmo tempo em que armazenam em seu interior o que justificaria o aumento das temperaturas durante o dia e sua diminuição de maneira lenta no decorrer da noite, ocasionando ilhas de magnitude média.

É imprescindível notar que em determinados períodos do mês, precisamente nos horários entre 00h e 05h as temperaturas se amenizam fazendo surgir ilhas de intensidade fraca, a suposição pode esta relacionada a incidência de ventos que ajudam na diminuição das temperaturas. Porém, a cidade de Maracanaú não conta com estação meteorológica fixa monitorada por órgãos de pesquisa, portanto dados referentes a variáveis climatológicas são indisponíveis o que impossibilita a análise por essa alternativa cabendo uma investigação mais precisa do fenômeno. O cálculo de intensidade de ilhas e calor para a estação 3, apêndice F estação 5, apêndice G segue com comportamentos similares aos encontrados na estação 2 já o cálculo de intensidade para a região da estação 4, apêndice H tem resultados parecidos com os encontrados na estação 1 tal fato refere-se as características dos locais em que as estações foram implantadas. Enquanto que nas estações 2, 3 e 5 temos regiões com bairros populosos as estações 1, (Figura 30) e estação 4, (Figura 31) encontram-se em localidades de menor densidade populacional, assim como carentes de infra -estruturas como caracterizadas pela figura 30 que apresenta a localização da estação 1.

**Figura 30** - Entorno da estação 1.



Fonte: Acervo autor.

**Figura 31** – Região de localização da estação 6.

Fonte: Acervo autor.

### 5.3. Validação dos dados de sensoriamento e das estações

De acordo com as etapas realizadas na metodologia gerou-se os mapas de temperatura da superfície com cenas do satélite TERRA e com os dados das estações para o mesmo dia que em no dia primeiro de janeiro tem-se os valores de temperatura provenientes das estações, (Tabela 2).

**Tabela 2** – Temperatura para o dia 01/01/2021.

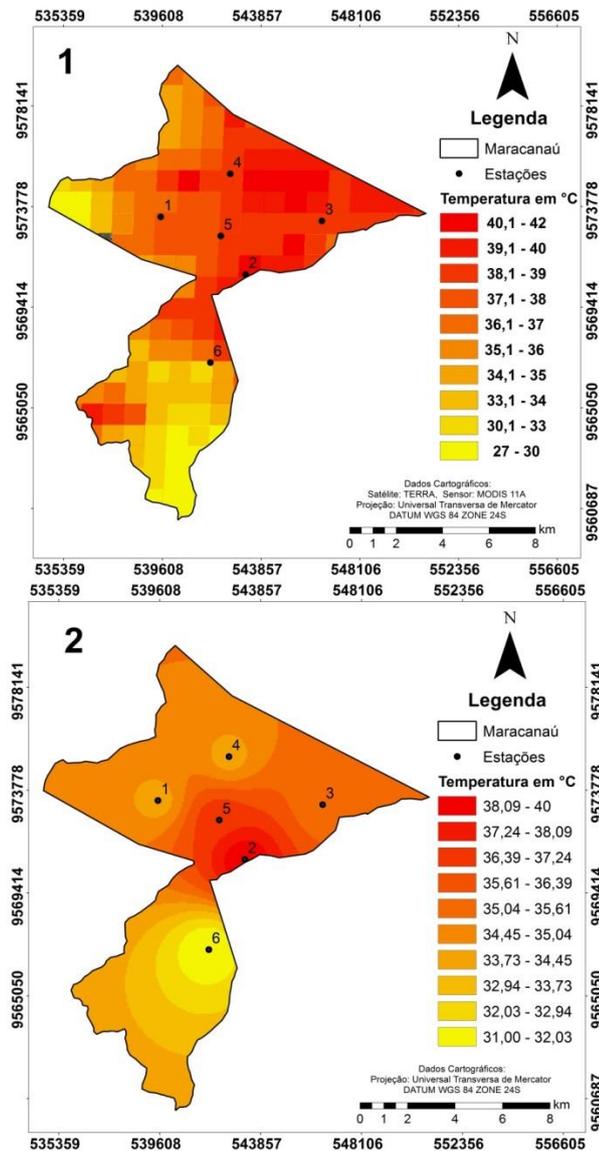
Hora	Temperatura					
	Estação 1	Estação 2	Estação 3	Estação 4	Estação 5	Estação 6
07:00	28	28	28	28	28	26
08:00	29	29	28	28	29	27
09:00	31	32	29	29	30	28
10:00	33	33	31	31	32	28
11:00	33	36	32	32	33	29
12:00	34	38	33	33	35	30
13:00	34	39	35	34	36	31
14:00	33	37	33	34	37	30
15:00	33	36	33	33	36	29
16:00	32	35	32	33	35	29
17:00	31	34	31	32	33	29
18:00	31	31	31	31	30	28
19:00	30	31	30	30	30	28
20:00	29	31	30	30	30	27
21:00	29	31	29	29	30	26
21:00	29	30	29	29	29	26
22:00	29	30	29	29	29	26
<b>Máxima</b>	34	39	35	34	37	31
<b>Mínima</b>	28	28	28	28	28	26

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se que os valores de máximas temperaturas concentram-se na região das estações 2 e 5 chegando a 39°C no horário de 13h e 37°C no horário de 14h. As demais estações detêm valores de máximas entre 31°C e 35°C. As mínimas se mantem constantes entre os 28°C no horário de 6h para quase todas as estações com exceção da estação 6 localizada mais afastada do centro urbano com temperatura mínima de 26°C para o mesmo horário.

De posse dos dados de temperatura buscou-se a máxima diária e por meio dela realizou-se uma interpolação no ArcGis para gerar o mapa de comparação, assim os resultados obtidos encontram-se na (Figura 32).

**Figura 32** - Correlação entre os dados mapa 1 satélite TERRA e mapa 2 estações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a figura 32 observa-se que visualmente as características são similares, porém ao comparar valores de temperatura para algumas estações nota-se pequenas diferenças, enquanto que a estação 2 e o mapa 2 tem uma temperatura máxima no valor de 39°C no mapa 1 a temperatura está na faixa de 40,1°C a 42°C.

Já para a estação 6, temos no mapa 2 a temperatura máxima em torno de 31°C enquanto que no mapa 1 esta entre a faixa de 27° a 30°C. Para todas as outras estações tem-se a aproximação dos valores de temperatura em comparação aos valores do mapa 1.

Os dois mapas apresentam comportamento visual com certa similaridade o que demonstra que as duas metodologias empregadas para investigação de ilhas de calor são eficientes, mesmo com o uso de imagens de satélite de menor resolução. O que de certo modo tornam-se instrumentos avaliativos que caracterizam o fenômeno de ilhas de calor na região.

## **6. CONCLUSÕES**

Os resultados encontrados com base no algoritmo para obtenção da temperatura de superfície foram satisfatórios podendo-se avaliar o comportamento das ilhas de calor em todo o município e sobre diferentes alvos, porém a sua utilização fica condicionada a uma faixa temporal. Já que o algoritmo trabalha com o processo de remoção de nuvens, no qual para que se torne eficiente faz se necessário o uso de um espaço de tempo maior contemplando inúmeras imagens de satélite dentro do período pré-estabelecido.

Por meio do mapa de temperatura é possível relacionar com o mapa de uso e ocupação, resultando em conclusões de que o processo de surgimento das ilhas de calor está diretamente ligado a ação antrópica, além de verificar como se comporta a temperatura sobre diferentes alvos há uma determinada distância.

Como a maioria dos satélites com imagens gratuitas e de boa resolução orbitam o planeta, sua passagem por um alvo específico fica condicionada a um determinado dia, o que impossibilita uma análise com base em horas. Assim, o uso das estações se apresenta eficiente constatando que o fenômeno de ilhas de calor ocorre no município sobre diferentes intensidades ao longo do dia e em diferentes horários para cada região.

Cabe ressaltar que apesar de o fabricante do sensor estipular uma precisão de mais ou menos 2°C para cada sensor, seria interessante utilizar um sensor de maior resolução como o DHT22 que tem precisão de mais ou menos 0,1°C. Há também a necessidade de se realizar a calibração dos sensores submetendo-os as mesmas condições de operação e ao lado de uma estação meteorológica profissional para confrontação dos dados.

A comparação entre os dados obtidos nas etapas 1 com a 2 foi possível apenas com as imagens do satélite TERRA o que possibilitou a análise de correlação dos dados que apresentaram valores aproximados quando confrontados com os dados de temperatura das estações.

Por fim verificou-se que no município de Maracanaú a ilha de calor de maior intensidade localiza-se na região nordeste que concentra o maior aglomerado urbano apresentando as maiores temperaturas, tendo seu ápice nos bairros referente ao centro do município e atuando em diferentes intensidades sobre as demais regiões.

## 7. REFERÊNCIAS

- ACERO, Juan A.; ARRIZABALAGA, Jon; KUPSKI, Sebastian; KATZSCHNER, Lutz. Urban heat island in a coastal urban area in northern Spain. **Theoretical And Applied Climatology**, [S.L.], v. 113, n. 1-2, p. 137-154, 10 out. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-012-0774-z>.
- ALVES, Elis Dener Lima. Ilha de calor urbana em cidade de pequeno porte e a influência de variáveis geourbanas. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 20, n. 13, p.97-116, jul. 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/patri/Downloads/46190-205903-3-PB.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.
- ALVES, E.; SOUZA, G. S.; MARRA, R. Êxodo e sua contribuição à urbanização de 1950 a 2010. **Revista de Política Agrícola**, S[L], v. 20, n. 2, p. 80-88, abr. 2011.
- ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, v. 23, n. 01, p. 1-26, 2003.
- AVDAN, Ugur; JOVANOVSKA, Gordana. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. **Journal Of Sensors**, [S.L.], v. 2016, p. 1-8, 2016. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1480307>.
- AZEVEDO, Adriani Cavalcante; FERREIRA, Geomaik Gomes; TORRES, Ítalo Brenno dos Santos; SILVA, Maria Eduarda Araújo da; DUARTE, Cristiana Coutinho. Ilhas de Calor e Ilhas de Frescor: uma abordagem direcionada para a sala de aula. **Revista Diálogos**, [S.L.], v. 1, n. 17, p. 213-231, 25 mar. 2017. Revista Dialogos. <http://dx.doi.org/10.13115/2236-1499.v1n17p213>.
- BARBOSA, Antônio Helton da Silva; CARVALHO, Rodrigo Guimarães de; CAMACHO, Ramiro Gustavo Valera. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre – estado do Rio Grande do Norte. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [S.L.], v. 33, p. 128, 23 ago. 2017. Universidade de São Paulo, Agencia USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v33i0.128171>.
- BARBOSA, R. V. R.; VECCHIA, F. A. S. Estudos de ilha de calor urbana por meio de imagens do Landsat 7 ETM+: estudo de caso em São Carlos (SP). **Revista Minerva**, São Carlos, v. 6, n. 3, p. 273-278, 2009.
- Barros, H. R. de.; Adelaide Lombardo, M. A relação entre ilhas de calor urbana, ocupação do solo e morfologia urbana na cidade do Recife. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 3, n. 9, p. 65-76, out. 2012. Semestral. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2479>. Acesso em: 13 mar. 2021.
- BRITO, A. P. M.; SANTOS, I. M. M.; ALEXANDRE, L. M. S.; NOGUEIRA, R. S. Distribuição espacial das nascentes e análise da qualidade da água na comunidade olho d'água dos Constantinos, em redenção, Ceará.. In: Anais do SIRGEO - Simpósio Regional de Geoprocessamento. **Anais...Teresina(PI) IFPI**, 2019.

CÂMARA, Gilberto. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos, INPE, 2001.

CONSIGLIERI, Lucas Magno. Estação Meteorológica de baixo custo com Arduino. *In: Congresso De Iniciação Científica da UNESP*, 29. Bauru, 2017. p.1. Disponível em: <[http://prope.unesp.br/cic\\_isbn/index.php?slcg=39&mn=1](http://prope.unesp.br/cic_isbn/index.php?slcg=39&mn=1)>. Acesso em: 28 out. 2020.

COSTA, D. F. da; SILVA, H. R.; PERES, L. F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 30, n. 5, p. 974-985, out. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162010000500019>. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162010000500019](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162010000500019). Acesso em: 06 mar. 2021.

FIALHO, Edson Soares. Ilha de calor: reflexões acerca de um conceito. **Revista Acta Geográfica**, [S.L.], p. 61-76, 2012. Revista ACTA Geografica. <http://dx.doi.org/10.5654/actageo2012.0002.0004>

FREITAS, Edmilson Dias; DIAS, Pedro Leite Silva. Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 355-366, jun. 2004. Semestral. <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.14416484>

FREITAS, Thyago Phellip França. INFLUÊNCIA DAS MASSAS D'AGUA EM CLIMAS URBANOS: PRIMEIRAS REFLEXOES. *In: SEMCAC SEMINÁRIO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: CLIMA URBANO NA DINÂMICA DAS CIDADES*, 1., 2017, Palmas. **Anais [...]**. Palmas: Semcac, 201. v. 1, p. 1-6. Disponível em: <http://ulbra-to.br/semcac/assets/download/2017/poster-2-massas-dagua-p.-100-a-105.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2021.

GALEAZZI, C. H.; CORBELLA, O.; DRACH, P. O mar virou sertão? Um estudo sobre as ilhas de calor no Complexo da Maré. **O Social em Questão** - Ano XXIII - nº 48. p267-294. ISSN: 2238-9091. 2020.

GARTLAND, L. Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248p.

HEINZ, Luíza Vargas de Oliveira; ROLIM, Silvia Beatriz Alves. Aplicação de NDVI Threshold Method para recuperação de emissividade de superfície de dados Landsat-8. *In: SALÃO UFRGS 2017: SIC - XXIX SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS*, 29., 2017, Campus do Vale. **Anais [...]**. Campus do Vale: Ufrgs Lume Repositório Digital, 2017. p. 1-1. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/175842?locale-attribute=en>. Acesso em: 20 jan. 2021.

INCROPERA, F.; DEWITT, D.P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, 7ª ed., Rio de Janeiro: LTC, 2014.

IPECE. **Perfil municipal Maracanaú 2017**. Disponível em:<[https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Maracanau\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Maracanau_2017.pdf)>. Acesso em: 26 de jul. 2019.

LAZARIM, C. G.; ZULLO JUNIOR, J. Z.. Estimativa da temperatura da superfície terrestre, destinada ao monitoramento agrometeorológico de dias com temperaturas elevadas, utilizando dados do sensor AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2011

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.959>).

LOMBARDO, Magda Adelaide. Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. Editora Hucitec com apoio de Lalekla S.A. Universidade do Texas Comércio e Indústria, 244 páginas 1985

MACHADO, M. L. Caracterização de agroecossistemas cafeeiros da Zona da Mata de Minas Gerais, usando Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas. 2002. 137 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MATOS, F. B.; FREITAS, T. M.; LUNA, V. F.; SILVA, J. M. O. Ilhas de calor na cidade do Crato/CE: mensuração a partir de transectos móveis. **Revista Homem, Espaço e Tempo**, nº 14, volume 2, p. 51-65, 2020.

MENDONÇA, F. A. **O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR**. 1995. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas.

MINKS, V. A rede de design verde urbano- uma alternativa sustentável para megacidades. **Revista LABVERDE**. São Paulo, n. 7, p. 120-141, 2013. ISSN: 2179-2275.

MIRANDA, Y. C.; NETO, F. F. M.; BORTOLI, M. M. Sensoriamento Remoto Aplicado À Detecção De Ilhas De Calor Urbanas:Uma Revisão Sistemática. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S.L.], v. 13, n. 8, p. 105-119, 19 dez. 2017. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. <http://dx.doi.org/10.17271/1980082713820171741>

MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. Cap. 1. INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)-8984-PUD/62. p 1- 22. São José dos Campos, 2002.

MOURA, Renner Martins de. **Estação Meteorológica De Baixo Custo: Uma Contribuição Para O Monitoramento Meteorológico Das Cidades**. 2018. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em:

<<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24119/1/Esta%C3%A7aoMeteorologicaBaixo.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2019.

NEIVA, Henderson da Silva; CATTAE, Julia Fernandes. A ILHA DE CALOR E FRESCOR NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO: ESTUDO DE CASO DOS BAIRROS MÉIER E JARDIM BOTÂNICO. In: VII - CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 7., 2014, Vitória. **ANAIS do VII CBG**. Vitória/Es: Agb - Associação Brasileira de Geógrafos, 2014. p. 1-12. Disponível em: [http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404533793\\_ARQUIVO\\_AILHADECALOREFRESCORNACIDADEDEDORIODEJANEIRO.pdf](http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404533793_ARQUIVO_AILHADECALOREFRESCORNACIDADEDEDORIODEJANEIRO.pdf). Acesso em: 20 fev. 2021.

NETO, A. T.; TRINDADE, A. M. C. C. Ilha de Calor Urbana e desconforto térmico: uma análise episódica em cuiabá/mt. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [S.L.], p. 1492-1506, 2017. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP. <http://dx.doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2059>.

NICODEMO, M. L. F. PRIMAVESI, O. **Por que manter árvores na área urbana?** São Carlos: Embrapa. v 1 n1, p1-40. ISSN 1980-6841, 2009.

OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978, 372p.

PORANGABA, G.F.O., AMORIM, M.C.C.T. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.12, n.06 (2019) p2041-2050. 2019.

RIBEIRO, H.; PESQUERO, C. R.; COELHO, M. S. Z. Clima urbano e saúde: uma revisão sistematizada da literatura recente. **Estudos avançados**. V. 30. N 80, p 67-82, mar. 2016. <http://DOI: 10.1590/S0103-40142016.00100005>

RIZWAN, A. M.; DENNIS, Y.C; LIU, C. A, review on the generation. determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of environmental sciences*, Tokyo, v. 20, n. 1, 2008.

ROSA, Marcos Reis. Classificação do Padrão de Ocupação Urbana de São Paulo Utilizando Aprendizagem de Máquina e Sentinel 2. **Geography Department University Of Sao Paulo**, [S.L.], p. 15-21, 9 set. 2018. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.145784>.

SANTOS, A. A. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental no parque estadual da serra do rola moça. Universidade Federal de Minas Gerias, Belo Horizonte, 2010.

SANTOS, A. A. M.; AMORIM, H. S.; DEREZYNSKI, C. P.. Investigação do fenômeno ilha de calor urbana através da utilização da placa Arduíno e de um sítio oficial de meteorologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 1-13, 17 out. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2016-0143>.

SANTOS, Alexandre Eduardo. Do surgimento da cidade ao processo deconurbação: elementos teóricos para análise. In: VII - CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2014, Vitória/Es. **ANAIS do VII CBG**. Vitória/Es: Agb - Associação Brasileira de Geógrafos, 2014. p. 1-12.

SANTOS, A.M.; RODRIGUES, G.A. Ilhas de Calor: Conceito, Problemas e Alternativas. In: III SIMTEC – Simpósio de Tecnologia da FATEC Taquaritinga. Disponível em: 10 p. Outubro de 2015.

SIEG- Sistema Estadual de Geoinformação. **Geoprocessamento**. 2013. V1 ed 1. Disponível em: <http://www2.sieg.go.gov.br/post/ver/169642/geoprocessamento>. Acesso em: 14 out. 2020.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, H.; SANTANA, P. Clima e saúde em contextos urbanos: uma revisão da literatura. *Biblio 3w*, v.XIX, 2014.

SOUSA, A. O.; RIBEIRO, D.S.; SANTOS, C. O. R.; JESUS, E. S.; JÚNIOR, A. P. A urbanização, a formação de ilhas de calor e o uso de vegetação para o conforto térmico. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal, v. 12, n. 2, p. 16-22, ago. 2018.

SOUSA, R. R.; ANTUNES, J. P.; CABRAL, I. ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO. **Geo Uerj**, [S.L.], n. 27, p. 80-97, 20 dez. 2015. Universidade de Estado do Rio de Janeiro. <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2015.12335>.

STATHOPOULOU, Marina; CARTALIS, Constantinos. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: an application to major cities in greece. **Solar Energy**, [S.L.], v. 81, n. 3, p. 358-368, mar. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.014>.

STEWART, I. D.. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal Of Climatology*, [s.l.], v. 31, n. 2, p.200-217, 20 jan. 2011. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.2141>.

TEIXEIRA, Danielle Cardozo Frasca; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. O estudo da ilha de calor em cidade de pequeno porte: algumas contribuições. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p.186-209, ago. 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/patri/Downloads/40997-Texto%20do%20artigo-184618-1-10-20180906.pdf>. Acesso em: 28 out. 2020.

TOSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. **Geotecnologias e Geoinformação**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Acesso em: 28 out. 2020.

TRINDADE, Patrícia Michele Pereira; SALDANHA, Dejanira Luderitz; PEREIRA FILHO, Waterloo. Utilização do infravermelho termal na análise espaço temporal da temperatura de superfície e ilhas de calor urbanas. **Revista Brasileira de Cartografia**: Edição Desastres Naturais e Impactos Ambientais, Rio de Janeiro, v. 69, n. 4, p. 837-855, abr. 2017. Trimestral. Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44338>.  
Acesso em: 01 mar. 2021.

TSUYUGUCHI, B. B.; CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.. Uso De Geotecnologias Para Espacialização De Dados De Precipitação, Ndvi E Temperatura De Superfície Da Bacia Do Rio Taperoá. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3. **Anais**. Recife: 2010.

WANG, Fei; QIN, Zihao; SONG, Caiying; TU, Lili; KARNIELI, Arnon; ZHAO, Shuhe. An Improved Mono-Window Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 8 Thermal Infrared Sensor Data. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 4268-4289, 10 abr. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs70404268>.

## APÊNDICE A – CÓDIGO EM JAVA PARA OBTENÇÃO DE RASTER DE TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE NO GEE

```
//Carregando coleção LANDSAT 8
{
var col = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
.map(maskL8sr)
.filterDate('2020-01-01','2020-12-31') //altere as datas para visualização de outros
períodos
.filterBounds(table);
}
print(col, 'coleccion');

//Máscara de nuvens
function maskL8sr(col) {
  // 3 e 5 são os valores referentes ao bit de nuvem e sombra de nuvem
  var cloudShadowBitMask = (1 << 3);
  var cloudsBitMask = (1 << 5);
  // Bada QA
  var qa = col.select('pixel_qa');
  // O valor de 0 indica condições claras
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
  return col.updateMask(mask);
}

//Visualização dos parametros
var vizParams = {
bands: ['B5', 'B6', 'B4'],
min: 0,
max: 4000,
gamma: [1, 0.9, 1.1]
};
```

```
var vizParams2 = {
bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
min: 0,
max: 3000,
gamma: 1.4,
};

//Redução
{
var image = col.median();
print(image, 'image');
Map.addLayer(image, vizParams2);
}

//NDVI
{
var ndvi = image.normalizedDifference(['B5',
'B4']).rename('NDVI');
var ndviParams = {min: -1, max: 1};
print(ndvi, 'ndvi');
Map.addLayer(ndvi, ndviParams, 'ndvi');
}

//Valor mínimo e valor máximo do NDVI
{
var min = ee.Number(ndvi.reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.min(),
geometry: table,
scale: 30,
maxPixels: 1e9
}).values().get(0));
print(min, 'min');
var max = ee.Number(ndvi.reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.max(),
```

```

geometry: table,
scale: 30,
maxPixels: 1e9
}).values().get(0));
print(max, 'max')
}

```

```
//Pv - Cálculo da Fração de vegetação
```

```

{
var
                                                    fv
=(ndvi.subtract(min).divide(max.subtract(min))).pow(ee.Number(2)).rename('FV');
print(fv, 'fv');
Map.addLayer(fv);
}

```

```
//Cálculo da Emissividade
```

```

var a= ee.Number(0.004);
var b= ee.Number(0.986);
var EM=fv.multiply(a).add(b).rename('E');
var imageVisParam3 = {min: 0.9865619146722164, max:0.989699971371314};
Map.addLayer(EM, imageVisParam3,'E');

```

```
//Seleção da Banda Termal B10
```

```

var termal= image.select('B10').multiply(0.1);
var b10Params = {min: 291.918, max: 302.382};
Map.addLayer(termal, b10Params, 'termal');

```

```
//Cálculo da temperatura de superfície
```

```

var Ts = termal.expression(
'(Tb/(1 + (0.00115* (Tb / 1.438))*log(Ep)))-273.15', {
'Tb': termal.select('B10'),
'Ep': EM.select('E')
}).rename('Ts');
Map.addLayer(Ts, {min: 20.569706944223423, max:30.328077233404645},'Ts');

```

```
Map.addLayer(table)
```

```
//Recorte da imagem com os limites do município
```

```
var clip = Ts.clipToCollection(table); //alterar Ts para obtenção de outras variáveis  
como NDVI, E, etc...
```

```
Map.addLayer(clip, {min: 20.569706944223423, max:30.328077233404645},'Ts');
```

```
//Exporta a imagem para sua conta no google drive.
```

```
Export.image.toDrive({  
  image: clip,  
  description: 'Ts_2020',  
  folder: 'my_folder',  
  region: table,  
  scale: 30,  
  crs: 'EPSG:4326',  
  maxPixels: 1e10});
```

## APÊNDICE B – CÓDIGO OBTENÇÃO DE RASTER DE USO E OCUPAÇÃO

```

//Máscara de nuvens
function maskL8sr(col) {
  // 3 e 5 são os valores referentes ao bit de nuvem e sombra de nuvem
  var cloudShadowBitMask = (1 << 3);
  var cloudsBitMask = (1 << 5);
  // Bada QA
  var qa = col.select('pixel_qa');
  // O valor de 0 indica condições claras
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
  return col.updateMask(mask);
}

//vis params
var vizParams = {
  bands: ['B5', 'B6', 'B4'],
  min: 0,
  max: 4000,
  gamma: [1, 0.9, 1.1]
};

var vizParams2 = {
  bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
  min: 0,
  max: 3000,
  gamma: 1.4,
};

//Carregando coleção LANDSAT 8:
{
  var col = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')

```

```

.map(maskL8sr)
.filterDate('2020-01-01','2020-12-31')
.filterBounds(maracanau);
}
print(col, 'coleccion');

//imagen reduction
{
var image = col.median();
print(image, 'image');
Map.addLayer(image, vizParams2);
}

//median
{
var ndvi = image.normalizedDifference(['B5',
'B4']).rename('NDVI');
var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white',
'green']};
print(ndvi,'ndvi');
Map.addLayer(ndvi, ndviParams, 'ndvi');

}

var evi = image.expression('2.5*((b5-b4)/(b5+6*b4-7.5*b2+1))',{
  'b5':image.select('B5'),
  'b4':image.select('B4'),
  'b2':image.select('B2'),
})

image = image.addBands(ndvi.rename('ndvi')).addBands(evi.rename('evi'))

Map.addLayer(image, maracanau)

```

```
var amostrasAgua = image.sampleRegions({
  collection: roi_agua,
  scale: 30,
  geometries:true
}).randomColumn('rand').limit(1000, 'rand', false)
```

```
var amostrasSolo = image.sampleRegions({
  collection: roi_solo,
  scale: 30,
  geometries:true
}).randomColumn('rand').limit(1000, 'rand', false)
```

```
var amostrasAreaAntropizada = image.sampleRegions({
  collection: roi_areaantropizada,
  scale: 30,
  geometries:true
}).randomColumn('rand').limit(1000, 'rand', false)
```

```
var amostrasVegetacao = image.sampleRegions({
  collection: roi_vegetacao,
  scale: 30,
  geometries:true
}).randomColumn('rand').limit(1000, 'rand', false)
```

```
var mergeAmostras =
amostrasAgua.merge(amostrasSolo).merge(amostrasAreaAntropizada).merge(amos
trasVegetacao)
```

```
var mergeAmostras = mergeAmostras.randomColumn('random')
```

```
var datasetTreinamento = mergeAmostras.filter(ee.Filter.lt('random',0.7))
```

```
var datasetTest = mergeAmostras.filter(ee.Filter.gte('random',0.3))
```

```
var classificador = ee.Classifier.smileRandomForest(100).train(datasetTreinamento,  
'classe', ['B5', 'B4', 'B3','ndvi'])
```

```
var landsatClassificada = image.classify(classificador)  
Map.addLayer(landsatClassificada)  
Map.addLayer(maracanau)
```

```
var acuraciaClassificador = datasetTest.classify(classificador)  
var matrizConfusao = acuraciaClassificador.errorMatrix('classe', 'classification')  
print('Matriz Confusão', matrizConfusao)  
print('Acuracia Geral', matrizConfusao.accuracy())  
print('Acuracia Consumodor', matrizConfusao.consumersAccuracy())  
print('Acuracia Produtor', matrizConfusao.producersAccuracy())  
print('Kappa', matrizConfusao.kappa())
```

```
var clip = landsatClassificada.clipToCollection(maracanau);  
Export.image.toDrive({  
  image: clip,  
  description: 'classificacao',  
  folder: 'my_folder',  
  region: maracanau,  
  scale: 30,  
  crs: 'EPSG:4326',  
  maxPixels: 1e10});
```

## APÊNDICE C – CÓDIGO EM C PARA COMUNICAÇÃO ENTRE ARDUINO E MÓDULOS

```
//Programa de monitoramento de ilhas de calor - Estação 3 - Columbia

#include "RTClib.h"
#include "DHT.h"
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

//Definições do sensor de temperatura DHT11
#define DHTPIN A0 //Pino de conexão
#define DHTTYPE DHT11 //Tipo de sensor
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //Cria objeto DHT

RTC_DS1307 rtc;
File file;

//Pino CS do cartão SD
int Pino_CS = 10;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Programa de monitoramento de ilhas de calor - Estação 3 - Columbia");
  Serial.println();
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);

  //Inicia o cartão SD
  Serial.println("Iniciando cartão SD...");
  if (!SD.begin(Pino_CS))
  {
```

```

    Serial.println("Falha na inicialização do SD!");
    digitalWrite(6, HIGH);
return;
}
Serial.println("Cartao SD iniciado. OK");
Serial.println();
digitalWrite(5, HIGH);

//Verifica as condições do RTC
if (! rtc.begin())
{
    Serial.println("RTC não encontrado!");
    while (1);
}
if (! rtc.isrunning())
{
    Serial.println("RTC não operante!");
    //A linha abaixo ajusta o RTC com a data e hora do momento da compilação
    rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    //A linha abaixo permite ajustar manualmente a data e hora do RTC
    //Formato: DateTime(ano, mês, dia, hora, minuto, segundo)
    //rtc.adjust(DateTime(2020, 11, 23, 13, 51, 00));
}

//Inicializa o DHT11
dht.begin();

}

void loop(void)

{ //Le as informacoes da temperatura
    float t = dht.readTemperature();
    float u = dht.readHumidity();

```

```

//Lê as informações do RTC
DateTime now = rtc.now();
//Serial monitor informacoes de hora
Serial.print(now.day() < 10 ? "0" : "");
Serial.print(now.day(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.month() < 10 ? "0" : "");
Serial.print(now.month(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.year() < 10 ? "0" : "");
Serial.print(now.year(), DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print(now.hour() < 10 ? "0" : "");
Serial.print(now.hour(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.minute() < 10 ? "0" : "");
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.second() < 10 ? "0" : "");
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.print(" ");
Serial.print("Temperatura: ");
Serial.print(t, 0);
Serial.print(" ");
Serial.print("Umidade: ");
Serial.print(u, 0);
Serial.println();

//Gravação do cartão
//Abre arquivo no SD para gravação
file = SD.open("Dados3.txt", FILE_WRITE);
//Grava os dados no cartão SD
FILE.PRINT(NOW.DAY() < 10 ? "0" : "");

```

```
FILE.PRINT(NOW.DAY(), DEC);
FILE.PRINT('/');
FILE.PRINT(NOW.MONTH() < 10 ? "0" : "");
FILE.PRINT(NOW.MONTH(), DEC);
FILE.PRINT('/');
FILE.PRINT(NOW.YEAR() < 10 ? "0" : "");
FILE.PRINT(NOW.YEAR(), DEC);
FILE.PRINT(" ");
FILE.PRINT(NOW.HOUR() < 10 ? "0" : "");
FILE.PRINT(NOW.HOUR(), DEC);
FILE.PRINT(':');
FILE.PRINT(NOW.MINUTE() < 10 ? "0" : "");
FILE.PRINT(NOW.MINUTE(), DEC);
FILE.PRINT(':');
FILE.PRINT(NOW.SECOND() < 10 ? "0" : "");
FILE.PRINT(NOW.SECOND(), DEC);
FILE.PRINT(" TEMPERATURA: ");
FILE.PRINT(T, 0);
FILE.PRINT(" UMIDADE: ");
FILE.PRINT(U, 0);
FILE.PRINTLN(" ");
//FECHA ARQUIVO
FILE.CLOSE();
//DELAY ATÉ A PRÓXIMA LEITURA
DELAY(1800000);
}
```

**APÊNDICE D – TABELA DE CUSTOS**

## TABELA DE CUSTOS DO PROJETO\*

ITEM	DESCRIÇÃO	QTDE	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
1	ARDUINO COM FONTE 220/12V	6 UNID	40,00	240,00
2	SENSOR DHT11	6 UNID	7,00	42,00
3	MÓDULO DATALOGGER	6 UNID	20,00	120,00
4	LED VERMELHO	6 UNID	0,20	1,20
5	LED AZUL	6 UNID	0,20	1,20
6	RESISTORES	12 UNID	0,30	3,60
7	MINI PROTOBOARD	6UNID	4,00	24,00
8	JUMPERS	1 KIT	12,00	12,00
9	TUBO PVC 100 MM	1,5 M	11,50	11,50
10	TUBO PVC 50 MM	2 M	5,80	11,60
11	TERMINAL DE VENTILAÇÃO	6 UNID	12,50	75,00
12	TAMPAS PARA TUBO PVC 50 MM	12 UNID	3,20	38,40
13	TAMPAS PARA TUBO PVC 100 MM	6 UNID	5,50	33,00
14	BANDEJAS PLÁSTICAS	6 UNID	1,20	7,20
15	DIVERSOS (COLA, PARAFUSOS, BUCHAS, ETC..)	X	8,33	50,00
<b>TOTAL</b>			<b>131,73</b>	<b>670,70</b>

\*VALORES REFERENTE A AQUISIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS REALIZADA EM DEZEMBRO DE 2019

## APÊNDICE E – CÓDIGO EM JAVA PARA OBTENÇÃO DE RASTER DE TEMPERATURA SENSOR MODIS 11A – SATELITE TERRA.

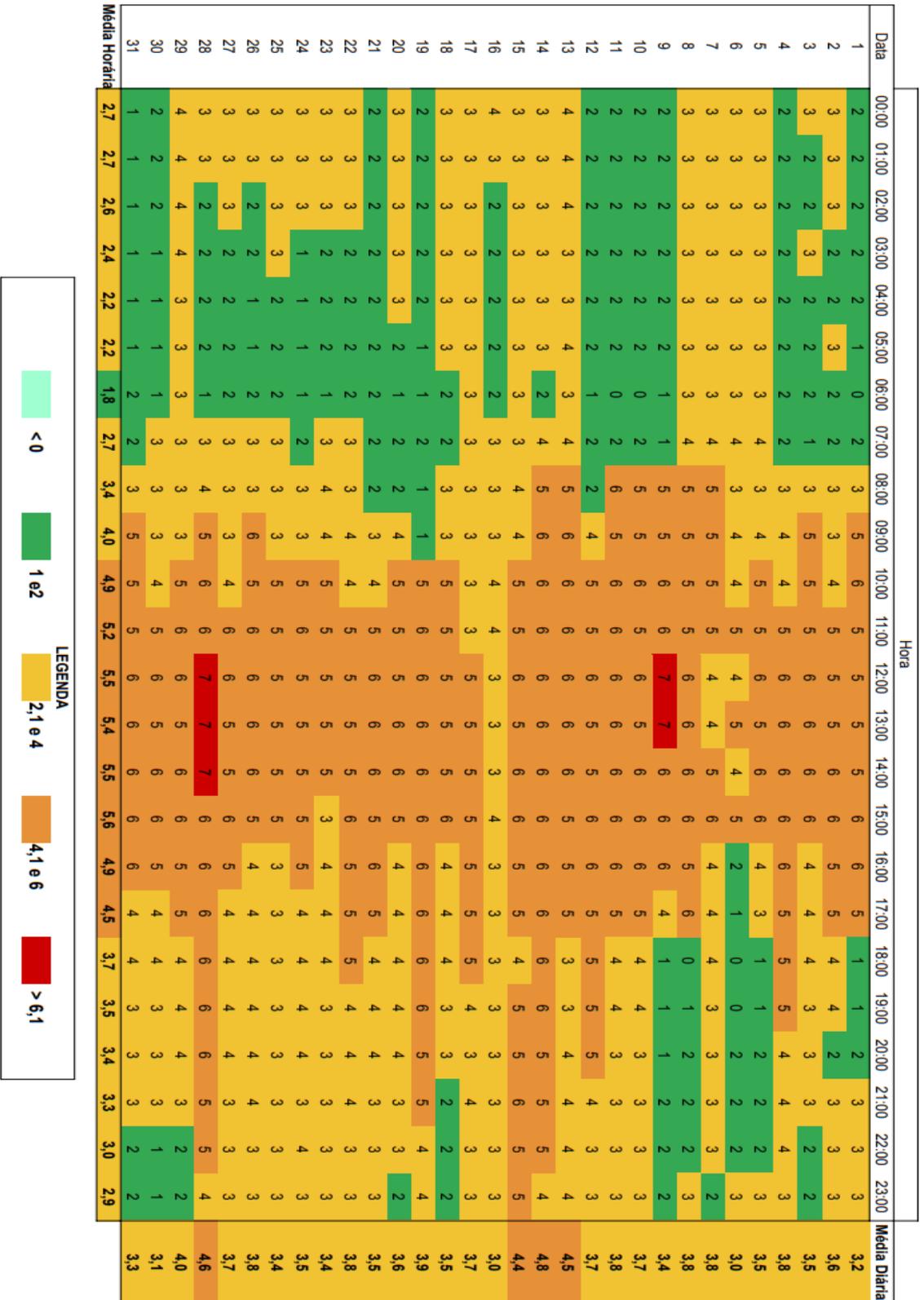
```

var dataset = ee.FeatureCollection('table');
print(table);
Map.centerObject(table, 6);
Map.addLayer(table);
var modis = ee.ImageCollection('MODIS/006/MYD11A2');
var start = ee.Date('2021-01-1');
var dateRange = ee.DateRange(start, start.advance(1, 'day'));
var mod11a2 = modis.filterDate(dateRange);
var modLSTday = mod11a2.select('LST_Day_1km');
var modLSTc = modLSTday.map(function(img) {
  return img
    .multiply(0.02)
    .subtract(273.15)
    .copyProperties(img, ['system:time_start']);
});
var ts1 = ui.Chart.image.series({
  imageCollection: modLSTc,
  region: table,
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  scale: 1000,
  xProperty: 'system:time_start'})
  .setOptions({
    title: 'LST 2015 Time Series',
    vAxis: {title: 'LST Celsius'}});
print(ts1);
var clippedLSTc = modLSTc.mean().clip(table);
Map.addLayer(clippedLSTc, {
  min: 20, max: 40,
  palette: ['blue', 'limegreen', 'yellow', 'darkorange', 'red'],
  'Mean temperature, 2015');
Export.image.toDrive({

```

```
image: clippedLSTc,  
description: 'LST_Jan1',  
folder: 'my_folder',  
region: table,  
scale: 30,  
crs: 'EPSG:4326',  
maxPixels: 1e10});
```

APÊNDICE F – INTENSIDADE DE ILHAS DE CALOR PARA ESTAÇÃO 3.





APÊNDICE H – INTENSIDADE DE ILHAS DE CALOR PARA ESTAÇÃO 5.

Data	Hora																								Média diária
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
1	3	3	3	3	3	3	0	2	3	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	1	1	2	3	3	2
2	3	3	3	3	3	3	1	2	3	4	5	5	5	5	6	6	6	6	5	4	4	2	3	2	2
3	3	2	1	2	2	2	1	2	2	3	3	4	5	6	6	6	6	6	5	5	4	4	4	3	3
4	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	5	6	6	6	6	6	6	4	5	4	3	2	2	2
5	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	7	7	6	5	6	6	6	6	4	3	1	2	2	2	2
6	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	4	5	4	3	4	5	2	2	0	0	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	1	1	2	3	3	5	5	5	4	4	5	6	4	4	4	4	3	3	3	3	3
8	3	3	4	4	3	3	3	4	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	4	4	4	3	2	3	3
9	3	2	3	2	2	2	1	2	3	6	6	7	7	7	6	6	6	6	4	4	4	3	3	3	3
10	3	3	4	4	2	2	0	2	3	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	4	4	3	3	3	3
11	3	3	2	4	2	2	0	2	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	3	3	3	3
12	3	3	4	4	4	3	2	2	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	4	4	4
13	4	4	4	4	3	4	3	4	5	6	6	6	7	7	6	6	6	6	5	3	3	3	4	4	4
14	3	3	4	4	4	3	3	3	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	5	5	4	4
15	4	4	4	4	3	3	3	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	5	6	5	5
16	5	5	5	5	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
17	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	3
18	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
19	3	3	3	3	2	2	1	2	1	5	6	6	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	3	3
20	3	2	3	3	2	2	1	2	2	4	5	5	5	5	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4	3
21	3	3	3	3	2	2	1	1	2	4	4	5	6	6	7	7	6	6	4	4	4	4	4	3	3
22	3	3	3	3	2	2	1	2	2	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3
23	3	3	3	3	3	3	1	2	2	4	4	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3
24	3	3	3	3	3	3	2	1	1	5	5	5	5	5	7	7	7	7	6	5	4	4	4	3	3
25	3	3	2	2	2	2	2	2	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3
26	3	3	2	2	1	1	2	3	3	6	5	6	6	6	6	6	6	5	4	4	4	4	4	3	3
27	3	3	3	2	2	2	2	3	3	5	6	6	6	6	6	6	6	5	4	4	4	4	3	3	3
28	3	3	2	2	2	2	1	2	2	4	7	7	7	7	8	8	6	6	6	6	6	6	5	4	4
29	4	4	4	4	4	3	3	3	3	5	6	6	6	6	6	6	6	5	5	4	4	4	3	3	3
30	2	2	2	1	1	1	1	3	3	4	4	5	6	6	6	6	6	5	4	4	4	3	3	3	3
31	1	1	1	1	1	1	2	2	3	5	5	5	6	6	6	6	6	6	4	4	4	3	3	3	2
Média Horária	3,0	2,9	2,9	2,8	2,4	2,1	1,6	2,5	3,1	4,0	4,9	5,3	5,5	5,4	5,6	5,8	5,0	4,5	4,0	3,7	3,5	3,4	3,0	2,9	3,3

LEGENDA	
	< 0
	1,02
	2,104
	4,1066
	> 6,1

3,7