



## DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INTRAURBANAS DE CASTANHAL (PA)

Estêvão José da Silva Barbosa <sup>1</sup>  
Francisco Hélder Fernandes do Amaral <sup>2</sup>

### RESUMO

No tocante às questões climáticas atuais, destaca-se a intensificação das ilhas de calor urbanas. Nesse sentido, objetiva-se identificar e analisar as ilhas de calor da Cidade de Castanhal-PA, e sua relação com as formas de uso e cobertura do solo. A metodologia se baseia nas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, para aquisição dos valores de temperatura de superfície (Ts) e para obtenção das formas de uso e cobertura do solo. Os resultados mostraram que os maiores valores médios de Ts correspondem às áreas construídas, tendo o solo exposto e a vegetação rasteira, demonstrando assinaturas de Ts intermediárias para as áreas com cobertura vegetal nativa de elevada densidade e corpos hídricos.

**Palavras-chave:** Temperaturas de Superfícies. Clima Urbano. Uso e Cobertura do Solo.

### ABSTRACT

With regard to current climate issues, the intensification of urban heat islands stands out. In this sense, the objective is to identify and analyze the heat islands of the City of Castanhal-PA, and their relationship with the forms of use and land cover. The methodology was based on remote sensing, and geoprocessing techniques, for the acquisition of surface temperature values (Ts), and to obtain the forms of use and land cover. The results showed that the highest average values of Ts correspond to the constructed areas, with exposed soil and undergrowth, showing signatures of intermediate Ts for areas with high density native vegetation cover and water bodies.

**Keywords:** Surface temperatures. Urban Climate. Land Use and Coverage.

### INTRODUÇÃO

A urbanização sem planejamento ambiental adequado faz surgir fatores de interferência antrópica múltipla nos ciclos naturais, gerando fenômenos de alteração da natureza que se manifestam em diferentes escalas. Esta realidade caracteriza a maioria das cidades brasileiras (AMORIM, 2010), e um de seus efeitos nefastos se expressa no clima, que é especialmente afetado pela interação entre as atividades humanas e os processos naturais. Estudar o clima das cidades é um meio de detectar os efeitos destas

---

<sup>1</sup> Doutor em Geografia Física (USP). Docente e pesquisador da Faculdade de Tecnologia em Geoprocessamento da Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Ananindeua. [estevaojsb@ufpa.br](mailto:estevaojsb@ufpa.br)

<sup>2</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP – SP), [helter.frnandes@unesp.br](mailto:helter.frnandes@unesp.br)



atividades na atmosfera e, assim, buscar maneiras de minimizar problemas ambientais que vão desde o comprometimento do bem estar da população até o aumento de eventos climáticos extremos.

O entendimento do clima das cidades também é uma questão de escala, caracterizando-se pelas relações entre os elementos e fatores próprios das zonas e regiões climáticas, e os fatores de ordem econômica, política, cultural e ambiental em nível local, na medida em que condicionam processos de mudança dos processos naturais. A partir das interações entre as atividades humanas realizadas na superfície terrestre e as condições climáticas surge o clima urbano, definido por Monteiro (2019) como o clima de um dado espaço e a sua urbanização, formando um sistema – Sistema Clima Urbano (SCU).

A área de estudo tomada para esta análise é a cidade de Castanhal, Estado do Pará, urbe de médio porte classificada como núcleo intermediário da rede urbana no espaço de influência direta da metrópole Belém (IBGE, 2017). Localiza-se na Região Geográfica Intermediária e Região Geográfica Imediata que leva o seu nome; e também na Região Metropolitana de Belém, onde foi admitida em 2011. A cidade está distante cerca de 68 km da capital do Estado. No contexto regional, chama à atenção pelo expressivo crescimento urbano que passou nas últimas décadas, ultrapassando 100 mil habitantes (IBGE, 2019). Em virtude disso, Castanhal não foge à regra das cidades se porte semelhante e apresenta uma série de problemas ambientais, a exemplo de mudanças em seu clima urbano.

Com isso, propõe-se aqui uma análise do padrão de temperatura em nível intraurbano, em um episódio do período de transição entre os períodos chuvoso (“inverno”) e o da estiagem (“verão”) na parte nordeste da região amazônica, na cidade de Castanhal (PA), tendo por base o uso da imagem do canal infravermelho termal, banda 10, do satélite Landsat8 OLI. A análise durante esse período, e também na estiagem, deve-se, principalmente, pela escolha de uma imagem com ausência total de cobertura de nuvens sobre a área de interesse.

## **PRESSUPOSTOS TEÓRICOS**

O clima urbano, segundo Monteiro (1976), deve ser compreendido a partir de uma visão sistêmica, complexa e dinâmica, em que as interações estão em constante movimento entre os subsistemas termodinâmico, físico-químico e hidrodinâmico,



expressando-se através de canais de percepção humana (conforto térmico, qualidade do ar, impacto meteórico), como define o autor ao dividir o Sistema Clima Urbano (SCU).

Segundo Honorato e Andrade (2012), para estudar o clima urbano é necessário abranger todas as características da área de estudo, pois o meio físico dá suporte para as transformações espaciais, estruturando e organizando o espaço segundo as categorias sociais adotadas para classificar a população. Admite-se que o clima urbano, como afirma Sant'Anna Neto (2011), deve ser compreendido como um fenômeno produzido pela sociedade, uma vez que as formas de produzir das cidades ocasionam alterações no ambiente como a retirada da cobertura vegetal, a canalização de rios, a impermeabilização de vias, a verticalização, a emissão de poluentes etc. Impactos como inundações, diminuição da qualidade do ar e formação de ilhas de calor são desencadeados e maximizados pela falta de planejamento ambiental.

Um dos impactos provocados pela falta de planejamento é a formação de ilhas de calor, que resultam das especificidades das formas urbanas e das modificações atmosféricas, criando nas cidades microclimas particulares.

As ilhas de calor se formam quando a temperatura do ar no interior das áreas urbanas é mais alta que das áreas rurais em volta, sendo uma das características mais expressivas do processo de urbanização. Os fatores que contribuem para a formação de ilhas de calor, como a verticalização, o aumento da densidade demográfica e de construções, a industrialização, o tráfego intenso e a redução da cobertura vegetal (ALMEIDA JUNIOR, 2005) se tornam cada vez mais presentes não só em grandes centros urbanos, como também em cidades pequenas e médias, categoria de cidade a qual Castanhal (em estudo nesta pesquisa) se enquadra.

Neste processo, as áreas centrais das cidades estão propensas a serem mais impactadas com os efeitos das ilhas de calor, em decorrência direta da densidade, forma, e altura dos edifícios, além dos materiais utilizados nas construções, alteração da cobertura de terra, pouca vegetação arbórea e da queima de combustíveis fósseis, o que modifica o balanço de energia da superfície (RIBEIRO; GONÇALVEZ; BASTOS, 2018).

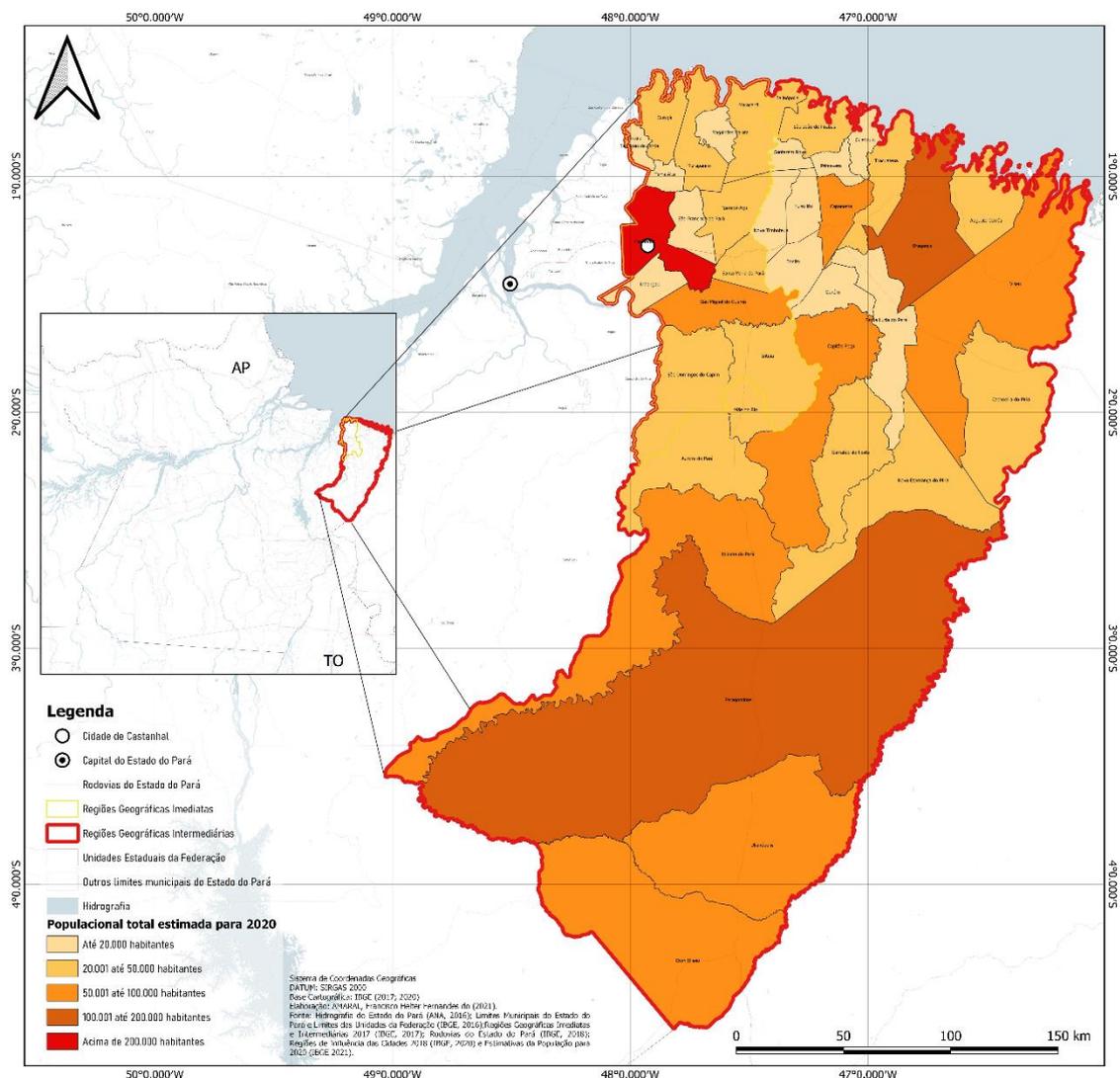
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O município de Castanhal, encontra-se localizado nas coordenadas de referência 01°17'49'' S e 47° 55' 19'' W. Está inserido na Região Geográfica Intermediária de



Castanhal e na Região Geográfica Imediata de mesmo nome (Figura 1), que abrange também os municípios de: Curuçá, Igarapé-açu, Inhangapi, Irituia, Magalhães Barata, Maracanã, Marapanim, Santa Maria do Pará, São Domingos do Capim, São Francisco do Pará, São João da Ponta, São Miguel do Guamá e Terra Alta. Castanhal se destaca por ser o de maior população, e o único com porte de cidade média.

**Figura 1** - Localização da área de Estudo.



Fonte: elaborado por Francisco H. F. do Amaral, 2021.

O município de Castanhal é dotado de uma posição geográfica estratégica, haja em vista que é recortado pela rodovia federal BR-316, e várias rodovias estaduais que dão acesso para o litoral, vale do rio Guamá e vários outros municípios do nordeste paraense.



Distante aproximadamente 68 km da capital estadual e estando diretamente articulada a Belém por meio da BR-316, Castanhal foi incorporada em 2011 à Região Metropolitana de Belém (RMB), o que intensificou a urbanização.

O perfil climático ao qual encontra-se inserido está classificado como equatorial quente e úmido sob cobertura vegetal original de floresta, segundo a classificação de Köppen-Geiger, enquadrando-se no subtipo “Af”. As temperaturas médias mensais são sempre superiores aos 21° C, e a média pluviométrica anual passa de 2.500 mm, sendo novembro o mês mais seco, com média de 73 mm. O período chuvoso, chamado local e regionalmente de “inverno”, estende-se desde dezembro até maio (verão/outono no hemisfério sul), seguindo-se um período de transição no qual as precipitações vão se reduzindo até agosto, quando tem início a estiagem ou “verão” (inverno/primavera no hemisfério sul). O clima sempre quente e úmido, aliado à presença da floresta, deve-se à proximidade com a linha do equador.

Afim de se realizar o objetivo estimado, foram executadas as seguintes etapas: levantamento de um referencial teórico através da consulta de material bibliográfico no Portal de Periódicos da CAPES; aquisição de informações referentes à temperatura do ar, direção e velocidade dos ventos, e histórico de precipitações na cidade de Castanhal, a partir das informações cedidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – Estação Meteorológica Convencional de Castanhal (INMET, 2019).

Para a delimitação das classes de uso e cobertura da terra foi utilizada imagem do satélite CBERS-4, órbita-161 e ponto-102, de 10/08/2019, tratada no programa QGIS 3.16.9, onde se deu a composição de uma imagem multiespectral em falsa cor (banda 3 - Red; banda 2 - Blue; banda 1 - Green) com resolução espacial de 10 m, posteriormente fusionada pela função *Pan Sharpening* junto à banda 4 Pancromática-PAN, para assumir a resolução de 5m. A definição das classes temáticas ocorreu a partir de trabalhos de campo para as feições de cobertura, e de consultas junto a uma planta cartográfica de uso e ocupação do solo de Castanhal, referente ao ano de 2018, adquirida na Secretaria de Planejamento e Gestão de Castanhal – SEPLAGE, para o melhor delineamento das feições de uso do solo. As classes de uso e cobertura do solo estão discriminadas no Quadro 1.



**Quadro 1:** Caracterização das classes de uso e cobertura da terra.

CLASSES	CARACTERÍSTICAS	IMAGEM DAS CLASSES (composição RGB, 5m)
Edificações Residenciais (ER)	Área urbana com predomínio de construções residenciais em lotes de quadras que detém predominância de telhados de cerâmica e de telhados escuros de diferentes tonalidades que na imagem variam do azul ao lilás. Possui um aspecto denso de ocupação mesclado com vegetação de pequeno porte.	
Áreas Comerciais (AC)	Presença de objetos grandes e retangulares (prédios), próximo a sombras com formatos retangulares e grandes. Mantendo baixa área relativa de vegetação nos lotes, além do aspecto de ocupação ser relativamente mais denso.	
Áreas Industriais (AI)	Áreas urbanas com concentração de indústrias, com presença de coberturas Metálicas, onde se predomina construções de Forma retangular bem definidas.	
Vias (V)	Áreas destinadas a trafegabilidade de pedestres e bens e mercadorias, construída em sua maioria por asfalto e cimento concretado.	



Solo Exposto (SE)	Solos sem cobertura vegetal ou construções edificadas, presentes em áreas urbanizadas e rurais.	
Vegetação secundária (VS)	Compreende as características das coberturas vegetais do tipo capoeira baixa, com presença de gramíneas e gramado de pequeno porte (inferior a um metro de comprimento), assim como as áreas destinadas a pastagem, com a presença de arbustos pouco desenvolvidos ou vegetação perturbada, onde o teor de fitomassa encontra-se pouco presente.	
Vegetação arbórea (VA)	Áreas com concentração de cobertura vegetal de grande a médio porte, detendo características preservadas.	
Corpos hídricos (CH)	Trechos de rio, lagos, piscinas e represas de pequenos portes.	

Fonte: elaborado pelos autores, 2021.

Para a classificação supervisionada, foram seguidas as orientações de Congalton e Green (2009), que recomenda uma quantidade mínima de 50 amostras para cada classe, por ser uma quantidade considerada apropriada para áreas com extensão inferior a um



milhão de acres e com menos de 12 classes, foram coletadas um percentual mínimo de 100 amostras de treinamento para cada classe temática, por meio de análise visual das feições, o classificador adotado foi o Máxima Verossimilhança (MAX-VER).

Visando a validação de qualidade da classificação foi construída uma matriz de confusão, na qual a acurácia e a concordância das classes foram verificadas, seguindo as recomendações de Congalton (1991), para tanto optou-se pelos índices de Exatidão Global e de Kappa (LANDIS; KOCH,1977).

O valor obtido por intermédio desse índice foi comparado ao nível de concordância conforme o melhor desempenho das classificações; cabe destacar que, quanto mais próximo de 1 os valores de G e K, melhor são os resultados. Com isso, a partir do índice K, seguiu-se a classificação proposta por (CONGALTON e GREEN, 1999)

Para o mapeamento das temperaturas de Superfície-Ts, foi adquirida uma imagem junto ao United States Geological Survey-USGS, correspondente à banda 10 – faixa do infravermelho termal (10.6 - 11.19  $\mu\text{m}$  - micrômetro) do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) presente no satélite LANDSAT-8, cena da órbita 223 e ponto, tendo sido registrada em 07/06/2018 em condições de baixa cobertura de nuvens na região durante o horário de passagem do satélite.

O processamento da imagem TIRS, para o estabelecimento da Temperatura da Superfície Terrestre ( $T_s$ ), após o recorte da área de interesse, que aqui compreendeu o limite da área urbana (bairros) da cidade de Castanhal. Estruturou-se segundo as prerrogativas metodológicas de Pires e Ferreira Jr. (2015), Coelho e Correa (2013), Coelho *et al.* (2016) e Amorim (2017).

Sendo a primeira etapa a realização da conversão dos parâmetros fixos dos níveis de cinza (NC) da banda 10, em radiância espectral, seguindo a equação proposta por Coelho, *et al.* (2016). Sendo utilizada a seguinte fórmula da Equação 1:

$$\text{Eq 1: } L\lambda = (ML * Q_{cal} + AL)$$

Onde: ( $L\lambda$ ) indica a Radiância Espectral em Watts / ( $\text{m}^2 \text{sr} \mu\text{m}$ ); (ML) se refere ao fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04; (AL) equivale ao fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000; ( $Q_{cal}$ ) corresponde ao valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10.



Para a realização da correção atmosférica nas imagens do LANDSAT-8 foi adotada a metodologia proposta por Pires e Ferreira Jr. (2015), que obteve os valores de transmissividade atmosférica, radiância emitida e recebida pela superfície através do site da NASA (<http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>). Sendo utilizados os dados provenientes da Estação Meteorológica Automática do INMET, localizada no interior do Instituto Federal do Pará (IFPA) da cidade de Castanhal, situado na BR-316. Para o referido cálculo foi utilizada a Equação 2:

$$\text{Eq 2: } (LT = \frac{(L\lambda - Lu - (1 - \epsilon)Ld)}{(\tau * \epsilon)})$$

Onde: ( $L_T$ ) Radiância de um alvo negro de temperatura cinética ( $W/ m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ ); ( $L\lambda$ ) Radiância espectral ( $W/ m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ ); ( $\tau$ ) Transmissividade da atmosfera 0.83; ( $Lu$ ) Radiância emitida pela superfície ( $1.45 W/ m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ ); ( $L_d$ ) Radiância recebida pela superfície ( $2.43 W/ m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ ); ( $\epsilon$ ) Valor da Emissividade da superfície, 0.92. (Equivalente adequada para as superfícies urbanas).

A partir da correção atmosférica, a radiância, foi convertida em temperatura efetiva de acordo com o valor em Kelvin, essa equação está em concordância com a fórmula adotada por Callejas *et al.* (2011). Assim, pela Equação 3:

$$\text{Eq 3: } T = \left( \frac{K_2}{\ln \left( \frac{K_1}{L_T} + 1 \right)} \right)$$

Onde: (T) Temperatura efetiva em Kelvin (K); ( $K_2$ ) Constante de calibração 2 = 1260.56 (K); ( $K_1$ ) Constante de calibração 1 = 607.76 (K); ( $L_T$ ) Radiância em Watts / ( $m^2 sr \mu m$ ).

Haja vista que as  $T_s$  foram obtidas seguinte os valores de Kelvin ( $^{\circ}K$ ), passando a ser necessário a converter para Celsius ( $^{\circ}C$ ) devido essa ser a unidade adotada no Brasil. Para tanto, subtraiu-se 273,15, a temperatura obtida pela Equação 4, seguindo as prerrogativas salientadas por Pires e Ferreira Jr. (2015):

$$\text{Eq 4: } Ts (^{\circ}C) = Ts - 273.15$$

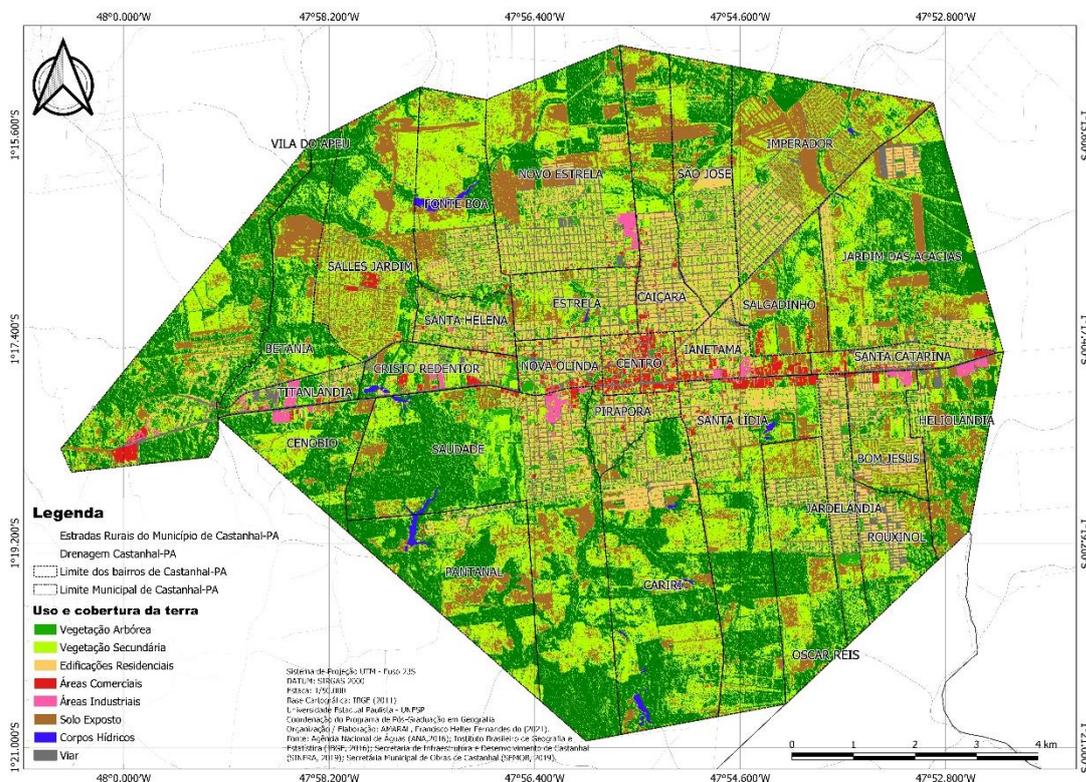
Onde:  $T_s (^{\circ}C)$  = valor em Graus Celsius ( $^{\circ}C$ ); ( $T_s$ ) Valor dos pixels em Graus Kelvin ( $^{\circ}K$ ). (273,15) valor da temperatura do ponto de congelamento da água ao nível do mar.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Com o término da classificação do uso e cobertura do solo, foi produzido o mapa de uso e cobertura da terra, conforme apresentado na Figura 2. Sua análise possibilita observar a predominância das classes vegetação arbórea, com 30,472 km<sup>2</sup> (27%), e vegetação secundária, 30,089 km<sup>2</sup> (23%), enquanto que o solo exposto abrangeu 12,175 km<sup>2</sup> (11%), e os corpos hídricos 228 km<sup>2</sup> (1%), que representam a menos abrangente classe dentre as feições correspondentes à cobertura da terra. Por outro lado, as feições de uso da terra demonstraram os seguintes parâmetros: edificações residenciais 20,549 km<sup>2</sup> (19%), áreas comerciais 11,131 km<sup>2</sup> (10%), áreas industriais 4,137 km<sup>2</sup> (4%), e vias 2,098 km<sup>2</sup> (2%).

**Figura 2:** Mapa de uso e cobertura da terra de Castanhal-PA.



Fonte: elaborado por Francisco H. F. do Amaral, 2021

A avaliação da acurácia da classificação superficionada seguiu as propostas metodológicas presentes nos trabalhos de Francisco e Almeida (2012), Oliveira e



Mataveli (2014), Abrão *et al.* (2015) e Queiroz (2017). Foram utilizadas matrizes de confusão, que dependem da amostragem de objetos para indicar possíveis discordâncias presentes entre a verdade de campo e a imagem classificada.

A matriz de confusão adotada para essa pesquisa foi obtida a partir da coleta de 30 amostras de referenciais em campo para cada classe. Com base nessa matriz de confusão foi realizado o cálculo do coeficiente Kappa e Exatidão Global, que de acordo com Antunes e Lingnau (1997) é um dos índices mais recomendados para análise de concordância das classificações (CONGALTON; GREEN, 1999). O valor obtido por intermédio desse índice foi comparado ao nível de concordância estabelecido por Congalton e Green (1999), conforme Tabela 1.

**Tabela 1:** critérios de concordância utilizados para avaliação da acurácia das classificações temáticas relacionados aos resultados estatísticos do índice Kappa.

VALOR DO KAPPA	CONCORDÂNCIA
$K < \text{ou} = 0\%$	Péssimo
$0\% < K < \text{ou} = 20\%$	Ruim
$20\% < K < \text{ou} = 40\%$	Razoável
$40\% < K < \text{ou} = 60\%$	Bom
$60\% < K < \text{ou} = 80\%$	Muito Bom
$80\% < K < \text{ou} = 100\%$	Excelente

Fonte: Adaptado de Congalton e Green (1999)

Os resultados da análise de acurácia ( $A_c$ ), da classificação supervisionada, indicam boa concordância em referência as amostras levantadas durante os trabalhos de campo, para construção da matriz de confusão. O resultado do coeficiente Kappa demonstra percentagem de similaridade equivalente a 77.58, qualificando a classificação, como “Muito Bom”, segundo critério estabelecido por Congalton e Green (1999).



**Tabela 2:** Matriz de erros de classificação temática da área de estudo, Castanhal (PA)

	ER	AC	ÁI	V	SE	VA	VS	CH	Erro de comissão	Acurácia
ER	24	2		1	3			1	22.58	77.42
AC	2	24	1	1	2			1	22.58	77.42
ÁI	2		26	1	1				13.33	86.67
V	1	5	1	27	2			2	28.95	71.05
SE	3	3			20		1	2	31.03	68.97
VA						27	4		12.90	87.10
VS						1	22		4.35	95.65
CH	1				2			25	10.71	89.29
Erro de Omissão	27.27	29.41	7.14	10.00	33.33	3.57	18.52	19.35	195	
Índice Kappa – (IK)										77.58
Exatidão Global – (EG)										80.91

Fonte: elaborado pelos autores, 2021

O índice de exatidão global, estabelecido para classificação supervisionada foi de 0,83. Quando comparada aos resultados de uma classificação supervisionada gerada por Queiroz (2017), para imagem RapidEye, (5m) de resolução, encontra um índice Kappa equivalente a 0,73 e um índice de exatidão global de 0,80, resultado apresentado como “Muito Bom”. Brites (1996) explica que a exatidão global tende a produzir um resultado, com valor numérico maior, em comparação a outros índices. Além disso, o Coeficiente Kappa considera os elementos externos da diagonal principal da matriz de confusão gerando, uma subestimação dos valores.

A validação das categorias individuais foi realizada pela análise dos erros de comissão e omissão, correspondendo ao erro proveniente da inclusão indesejada de amostras pertencentes a outras classes (CHUVIECCO, 1995). Enquanto que o erro de omissão, derivado dos não associados de um determinado grupo de pixels, a determinada categoria temática na qual deveria estar inserido (QUEIROZ *et al.*, 2017).

A Tabela 2 demonstra Erros de Omissão (E-O), que variam de 3% a 33% intervalo com valores mais acentuados, em comparação aos Erros Comissão, que encontram-se entre 4% e 31%. Com destaque para as classes: edificações residenciais, áreas comerciais, solo exposto e vias, que apresentam Erros de Omissão superiores à 20%. Já as classes edificações residenciais e áreas comerciais foram as únicas que apresentaram Erros de Comissão superior a 20%. Isto parece indicar a necessidade de refinamento sobre



os objetos classificados, ou da adoção de imagens com resolução espacial maior que 5 metros, que poderia resultar minimização dos erros nas categorias individuais.

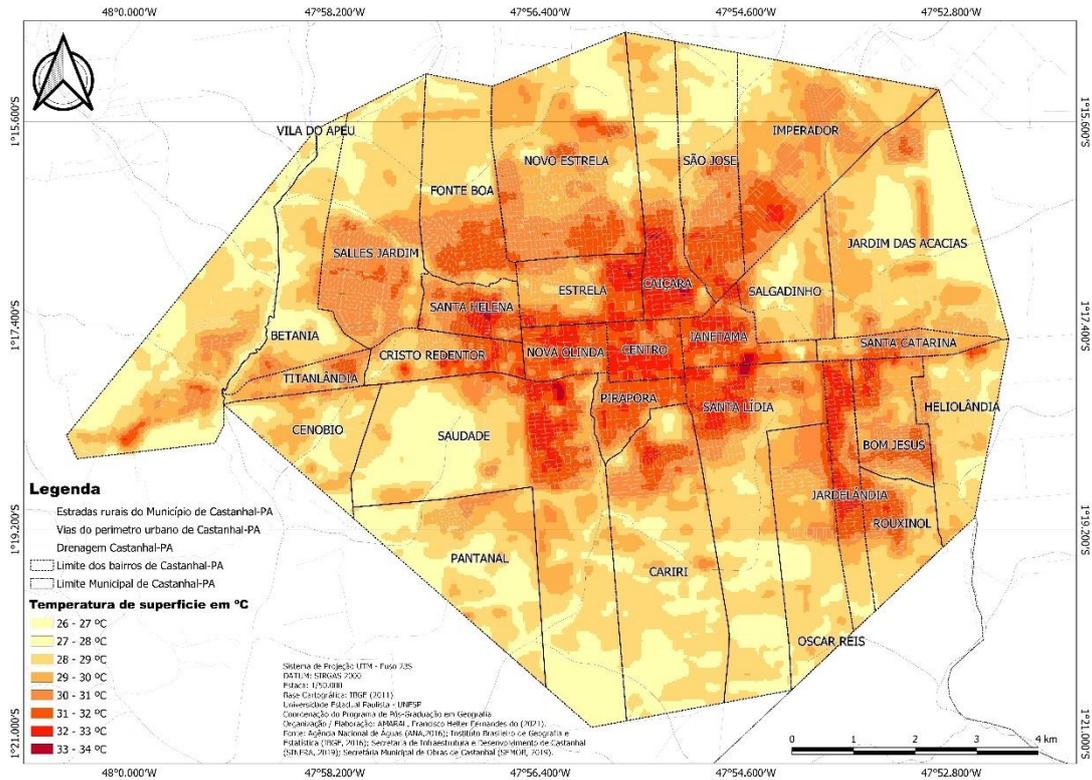
### **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS)**

A substituição de espaços com cobertura natural vegetada, por áreas construídas tem provocado nas cidades e municípios tanto de grande, quanto de médio a pequeno porte, alterações em seu microclima local. Através da análise da Ts, estimada para a imagem de 2018, foram identificadas que as mínimas de Ts em 2018 estão entre os intervalos de 26 e 30°C, enquanto as máximas em 2019 ficaram entre 33 e 34°C.

Observam-se machas Ts entre 33-34°C sobre os bairros: Ianetama, Santa Lúcia, Saudade, Santa Helena, Estrela e Caiçara, importante salientar que tais assinaturas estão em áreas pontuais, portanto, provenientes de objetos que emitem assinatura de temperatura característica, comportamento similar ao encontrado no trabalho de Vieira e Machado (2018, p.153) em que se associam tais pontos a utilização de um material específico empregado em telhados, característicos em áreas industriais. Enquanto que o campo com temperaturas entre 32-33°C é responsável por recobrir uma área significativamente maior, abarcando os bairros: centro, nova Olinda, Ianetama, Santa Lúcia, Jaderlândia, Pirapora, São Jose, Santa Helena, Cristo Redentor, Saudade, Estrela e Cariri. A partir desse intervalo de Ts temos a formação das ilhas de calor na cidade de Castanhal em 2018, como se observa na Figura 3.

Como apresentado nos trabalhos de Amorim (2017) e Araújo *et al.* (2016) o fator “precipitação” é apontado como influenciador nos valores de Ts obtidos pelos sensores. Partindo desse pressuposto foi realizada uma consulta junto ao banco de dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos (HIDROWEB), afim de verificar as condições de precipitação no dia de tomada das imagens pelos respectivos satélites e nos cinco dias anteriores. Tendo em vista, que Araújo *et al.* (2016) identifica que a precipitação nos cinco dias anteriores ao imageamento pelo sensor do satélite LANDSAT-8 influenciou na redução da estimativa das Ts detectadas.

**Figura 3**-Mapa de temperatura de superfície do perímetro urbano de Castanhal



Fonte: elaborado por Francisco H. F. do Amaral, 2021

Assim, a data de 07 de junho de 2018 apresentou 9,3 mm de precipitação, ao verificar os cinco dias anteriores, temos a precipitação de 52,4 mm distribuídos em quatro dias. Amorim (2017) salienta a relevância dessas informações, haja vista, a sua influência sobre o vigor da vegetação, o que pode acarretar mitigação sobre a amplitude térmica, devido a necessidade de maior quantidade de energia para a elevação de sua temperatura. Contudo, esse mesmo autor salienta a não aplicabilidade desse fato, sobre as áreas correspondentes a solo exposto e ambientes urbanos, já que tais locais não necessitam do mesmo volume de energia para acarretar a elevação em sua temperatura.

### RELAÇÃO ENTRE USO E COBERTURA DO SOLO E TEMPERATURA SUPERFÍCIE

Ao se comparar o mapa de uso e cobertura do solo de 2019 com o mapa de espacialização das Ts de 2018, constata-se que as Ts mais elevadas foram registradas em locais de concentração das classes Edificações Residenciais, Áreas Comerciais, Áreas industriais e Vias, sendo seguida pela classe Área de Solo Exposto. Já as Ts amenas,



foram encontradas junto aos adensamentos das classes Vegetação Arbórea e vegetação secundária e Corpos hídricos.

Segundo Amorim (2017, p. 127), esse comportamento das Ts mais elevadas se deve ao fato de:

Os materiais construtivos utilizados nos ambientes urbanos, particularmente nos telhados, são os principais responsáveis pelo calor produzido tanto no interior quanto no entorno das edificações. Este calor é determinado pelo albedo (refletância) e pela emissividade dos materiais. O albedo representa a parte da radiação solar incidente, que é refletida pelo material, enquanto a emissividade determina o desempenho térmico caracterizado pela temperatura superficial. (FERREIRA; PRADO, 2003 apud Amorim, 2017, p.127).

As superfícies com elevado albedo e emissividade geralmente apresentam Ts amenas quanto expostas a radiação solar, como é o caso das áreas vegetadas e corpos hídricos. Esse comportamento se deve em decorrência da absorção reduzida de radiação e grande quantidade de emissão da radiação térmica para o espaço, resultando na menor concentração de calor sob o entorno. Contudo, a ação reversa ocorre no meio urbano e com o solo exposto, gerando a permanência e concentração de energia em seu entorno (AMORIM, 2017).

Contudo, é importante ressaltar que a Ts tende a diminuir conforme se distancia da área urbanizada ou quando se tem uma confluência com a presença de Corpos Hídricos e Área com concentração significativa de Vegetação Densa, resultando em pontos onde a Ts é reduzida em até 3°C.

partindo da definição de Moreira e Nóbrega (2011, p. 0768) sobre ilhas de calor, essa são: “[...] uma anomalia térmica onde a temperatura da superfície do ar urbano é mais elevada do que as áreas circunvizinhas [...]”, podemos inferir que dentro da Área urbanizada de Castanhal, se tem a presença de ilhas de calor urbanas (ICUs)

Em 2018, a área urbana estruturada, apresenta-se compostas por quatro grupos de Ts; 30-31°C, 31-32°C, 32-33°C, 33-34°C. Sendo, as manchas de calor que configuraram as Ilhas de Calor Urbanas. Encontradas entre os intervalos de 32-33°C e 33-34°C, enquanto que o intervalo 33-34°C aparece de forma pontual, o intervalo entre 33-34°C encontra-se densamente distribuído sobre os bairros: Centro, Iaketama, Estrela, Caiçara, Santa Lidia, Jaderlandia, Bom Jesus, Saudade, Nova Olinda, Santa Helena, Cristo Redentor, São José e Imperador. O número expressivo de bairros abarcados por esses valores de Ts, decorrem da substituição da cobertura vegetal devido à expansão urbana e adensamento das formas de uso nas regiões centrais, em especial referentes as Áreas



comerciais, Áreas industriais e de Edificações Residenciais, aliado a baixa concentração de coberturas arbóreas, resultando no acúmulo de energia e, portanto, em albedos mais baixos.

O intervalo 31-32°C, corresponde as áreas que preservam um adensamento de construções, contudo, a presença de objetos que retém calor como as coberturas vegetais intra-quadras, amortiçam a formação de bolsões de calor mais intensos, assim como a melhor circulação do ar sobre as vias. Já os intervalos 30-31°C demonstra um comportamento intermediário entre as classes Edificações Residenciais, Área de Solo Exposto e Vegetação Secundaria, estando tal intervalo de Ts abrangente sobre as áreas periféricas, onde o adensamento de construções é reduzido junto a presença de Área de Solo Exposto misturado em dimensões de pixel com as coberturas Vegetativas.

Esse comportamento permiti-nos pressupor que a influência da cobertura vegetal sobre o pixel é a responsável por gerar diminuição na Ts, já que ela perde energia através dos processos de transpiração e evapotranspiração responsáveis por transformar calor sensível em latente e o conduzir a atmosfera, sem acarretar sobreaquecimento. Provocando temperaturas menores (JENSEN, 2009).

As Ts entre 29-30°C configura-se quanto intermediaria entre as áreas de Solo Exposto, Vegetação Secundaria e Vegetação arbórea, ressalta-se que esse intervalo representa maior afinidade de interlocução entre as duas últimas classes citadas. Já a classe Vegetação arbórea aparece composta pelos intervalos 26-27°C, 27-28°C e 29-30°C. Portanto, interagindo tanto com a Vegetação Secundaria, quanto com os Corpos Hídricos. Ressalta-se a permanência da tendência de diminuição da Ts registrada sobre a classe Vegetação arbórea conforme se distancia da zona urbana ou encontra-se interagido com os corpos hídricos.

Sobre a área urbana da cidade de Castanhal observa-se a presença de três tipos de materiais de cobertura: as coberturas de concreto, os telhados de cerâmicas, fibrocimento e as metálicas. As coberturas de cerâmicas são características das residências de classe baixa e média, compondo extensa área dentro dos bairros assentados nas zonas centro-periféricas e periféricos, as coberturas de fibrocimento abrangem as áreas mais periféricas sendo de pouca expressividade, já as coberturas de concreto e metálicas prevalecem sobre as áreas comerciais e industriais no bairro Centro e nos de seu entorno onde essas atividades demonstram-se preponderantes.



O comportamento observado até então sobre a relação entre as classes de uso e cobertura da terra e os intervalos das Ts presentes nos diferentes intervalos de tempo analisados, demonstram conformidade aos resultados observados nos trabalhos de Jensen (2009) e Amorim (2017) com a prevalência das temperaturas mais elevadas sobre: as áreas comerciais, industriais e residenciais adensadas que caracterizam as posições centrais e de entorno, enquanto que as Ts amenas ficam restritas aos corpos hídricos, vegetações e áreas agrícolas.

Todavia no presente estudo também foi observado o comportamento intermediário entre as áreas urbanizadas e as vegetadas, desempenhado pelo solo exposto. Contradizendo os resultados encontrados em trabalhos como de Callejas *et al.* (2011) que demonstra sobre o solo exposto Ts superiores as áreas urbanizadas. Esse comportamento sobre a área em estudo pode estar atrelado a heterogeneidade de feições como a presença de casas, solo exposto, vegetação rasteira, influenciando a assinatura espectral das imagens das bandas termais do sensor OLI.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo demonstrou a importância e as significativas contribuições que o uso de técnicas de sensoriamento remoto fornece aos estudos de clima urbano.

Os resultados demonstraram significativa correlação entre a temperatura da superfície e os tipos de uso e cobertura da terra. Com a atuação de intervalos de Ts de transição ou intermediária principalmente entre as classes: construções urbanas, solo exposto e vegetação secundária, identificou-se que as Ts mais elevadas se localizaram onde havia construções com coberturas metálicas, terrenos densamente construídos, construções verticais, horizontais, concentração de veículos e solos exposto.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA JUNIOR, Nicácio Lemes de. **Estudo de clima urbano: uma proposta metodológica.** Universidade Federal de Mato Grosso: Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Dissertação de mestrado. 94 f. Cuiabá, 2005.

AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço Urbano. **Mercator** – número especial, dez. 2010, p. 71-90.



AMORIM, M. C. C. T. Detecção remota de ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical, Brasil. **Finisterra, LII**, Centro de Estudos Geográficos (CEG), v.105, 2017, p. 111 -133.

ARAÚJO, E. D. S., SILVA, J. B., MACHADO, C. C. C. Identificação de Ilhas de Calor na Cidade de Campina Grande-PB utilizando Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.02, p. 614-626, 2016.

BAPTISTA, G. M. DE M. (2012). Sensores imageadores na faixa termal (8 – 14  $\mu\text{m}$ ) [image sensors in the thermal band (8 – 14  $\mu\text{m}$ ) ]. in P. r. Meneses, & t. almeida (Org.), Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto [introduction to remote sensing image Processing] (pp. 47 -56). Brasília: UnB/CnPq.

BARSI, J. A.; BARKER, J. L.; SCHOTT, J. R. **An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument**. IGARSS03 Centre de Congres Pierre Baudis, Toulouse, France, p. 21-25, 2003.

BERNARDES, T. **Caracterização do ambiente agrícola do Complexo Serra Negra por meio de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica**. 2006. 119p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BRITES, R.S. **Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais: efeito de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão**. Viçosa, 1996, 101 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; OLIVEIRA, A. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Uso do Solo e Temperatura Superficial em Área Urbana. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 23, p. 207-223, set./dez. 2011.

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

COELHO, A. L. N; CORREA, W. S. C. Temperatura de superfície Celsius do sensor Tirs/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Rev. Geogr. Acadêmica** v.7, n.1, 2013, p. 31-45.

COELHO, F. N.; SANTOS, C. C. P. NASCIMENTO, M. P. Aplicação de técnica de fusão em imagens Landsat 8/ TIRS para o mapeamento de temperatura de superfície em perímetros urbanos, no município de Várzea Grande, Mato Grosso. SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 6., 2016, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: Embrapa Informática Agropecuária/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2016. P.259-300.

COLL M, PIRODDI C, STEENBEEK J, KASCHNER K, BEN RAIS LASRAM F, AGUZZI J, et al. **The Biodiversity of the Mediterranean sea: estimates, Patterns, and Threats**. PLoS One 5(8): e11842, (2010). doi.org/10.1371/journal.pone.0011842.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy classificatons of remotely sensed data. **Remote Sensing Environment**, v. 37, p.35-46, 1991.

CONGALTON, R.G; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Nova York, Boca Raton: Lewis Publishers, 137 p., 1999.



CONGALTON, R; GREEN, K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. **Boca Raton**: CRC/Taylor & Francis, p.183, 2009.

FANGER, P. O. **Assessment of man's thermal comfort in practice**. British Journal of Industrial Medicine, 30, 1973, p. 313-324.

FERREIRA, F. L., & PRADO, R.T.A. (2003). **Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil** [Measurement of albedo and analysis of its influence on the surface temperature of materials used in roofs of buildings in Brazil]. São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 351, 1 -12.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

HONORATO, A. F. A.; Andrade, V. S. A. **Ilhas de calor e frescor na área urbana da cidade de Aquidauana-MS**. REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.2, N.4, p.878 – 886, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de uso da terra. Manuais técnicos em geociências**. 3. ed. n.7. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 170p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2020.

JENSEN, J. R. (2009). Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres [remote sensing of the environment: an earth resource perspective]. 2 ed. São José dos Campos: Parenteses.

LANDIS, J. R; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. DOI: <https://doi.org/10.2307/2529310>.

MARKHAM, B.L., BARKER, L.L., Thematic Mapper Bandpass Solar Exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing** 8, 517-523, 1987.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Teoria e clima urbano. In: **Clima Urbano**. 2ª ed. São Paulo: Contexto, p. 09-68. 2019.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo, IGEOG/USP, 1976. 181p.

MOREIRA, E. B. M, NÓBREGA, R. S. identificação do fenômeno ilhas de calor na área urbana do Recife-pe, através do canal infravermelho termal do satélite Landsat 5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Paraná: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. P. 0768-0775.

OLIVEIRA, B. S. & MATAVELI, G. A. V. Avaliação do desempenho dos classificadores Iseog e Bhattacharya para o mapeamento de áreas de cana-de-açúcar no município de Barretos-SP. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu. INPE, p.89-96. 2013.

PIRES, É.G.; FERREIRA JR, L.G. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. **Anais...** João Pessoa: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. p. 7421-7428.



RIBEIRO, C. R.; GONÇALVES, A. P.; BASTOS, F. P. **Ilhas de calor urbanas e conforto térmico humano em cidades de porte médio: estudo aplica em Juiz de Fora (MG).** R. Ra'e Ga, Curitiba, v.45, n. 1. p.281-300, dez/2018.

ROUSE, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **In...** 3rd ERTS Symposium, NASA. 1973.

SANT'ANNA NETO, João Lima. **O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis.** Revista Brasileira de Climatologia, ano 7, vol. 8 jan./jun. 2011, p. 45-60.

SOUZA, J. D. & SILVA, B. B. Correção Atmosférica para temperatura da superfície obtida com imagem TM – LandSat 5. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, p. 349-358, 2005.

VAN DE GRIEND, A. A. & OWE, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, V. 14, p.11191131, 1993.

VIEIRA, M. G; MACHADO, G.; Geotecnologias e ilhas de calor urbanas: uma aplicação a Uberlândia – MG. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v. 4, n. 3, p. 137 - 160, 2018.