

ANÁLISE DAS ILHAS DE CALOR A PARTIR DO USO DO SENSORIAMENTO REMOTO: O caso do município de Castanhal-PA/Amazônia

Francisco Helter Fernandez Do Amaral ¹

Viviane Correa Santos ²

RESUMO

No tocante as questões climáticas, 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, entre os anos de 1994, 2008 e 2018, e sua relação com as formas de uso e cobertura do solo. A metodologia baseia-se nas técnicas de sensoriamento remoto, para aquisição dos valores de temperatura de superfície (Ts), e na adoção de procedimentos de geoprocessamento para obtenção das formas de uso e cobertura do solo. Os resultados mostraram que os maiores valores médios de Ts correspondem as áreas construídas, tendo o solo exposto e a vegetação rasteira, demonstrando assinaturas de Ts intermediária para as áreas com cobertura vegetal nativa de elevada densidade e corpos hídricos, também vale destaca a progressiva elevação em até 3 °C de todas as feições de uso e cobertura a cada intervalo de tempo analisado.

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

INTRODUÇÃO

A intensificação das transformações ocorridas no espaço urbano a partir da segunda metade do século XX tem provocado diferentes efeitos sobre o modo e qualidade de vida da população, principalmente pela falta e/ou ineficácia das políticas públicas direcionadas para o planejamento urbano em consonância com o meio ambiente.

A acelerada e desordenada urbanização fez surgir fatores de interferência nos ciclos naturais, gerando alterações dos fenômenos da natureza em diferentes escalas. De acordo com Amorim (2010) as cidades brasileiras cresceram sem planejamento ambiental adequado, impactando negativamente na qualidade ambiental, gerando efeitos negativos sobre os setores que fundamentam a sociedade capitalista.

Um dos efeitos de tal processo se expressa no clima, que é especialmente afetado pelas mudanças ocorridas na interação entre as atividades humanas e a natureza. Diante disso, estudar o clima das cidades torna-se um meio de detectar os efeitos que as atividades antrópicas produzem sobre a atmosfera, e assim buscar formas de minimizar os problemas gerados entre os fenômenos naturais e a transformação do espaço geográfico.

¹ Discente do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) helter3fernandes@gmail.com

² Professora assistente do curso de Geografia da Universidade do Estado do Pará (UEPA) – viviane.santos@uepa.br

O clima das cidades é caracterizado pelas relações entre os fatores e elementos climáticos próprios das regiões do planeta que sofrem modificações decorrentes das atividades econômicas, do nível de desenvolvimento, e do sistema político ao qual estão inseridas. A partir das interações entre as atividades humanas desenvolvidas sobre a superfície terrestre e as condições climáticas surge o clima urbano, definido por Monteiro (2019) como o clima de um dado espaço e sua urbanização formando assim um sistema.

Dessa forma, a presente pesquisa objetiva a identificação de Ilhas de Calor (IC) pela estimativa da Temperatura da Superfície (TS), além de verificar a sua relação com o uso do solo, sobre a Cidade de Castanhal-PA, localizada na região amazônica, a partir de três imagens multiespectrais dos satélites Landsat 5 e 8, com data de passagem em 21-06-1994, 13-07-2008 e 06-07-2018, buscando contribuir com dados para futuros planejamentos urbanos da área em questão.

MATERIAIS E MÉTODOS

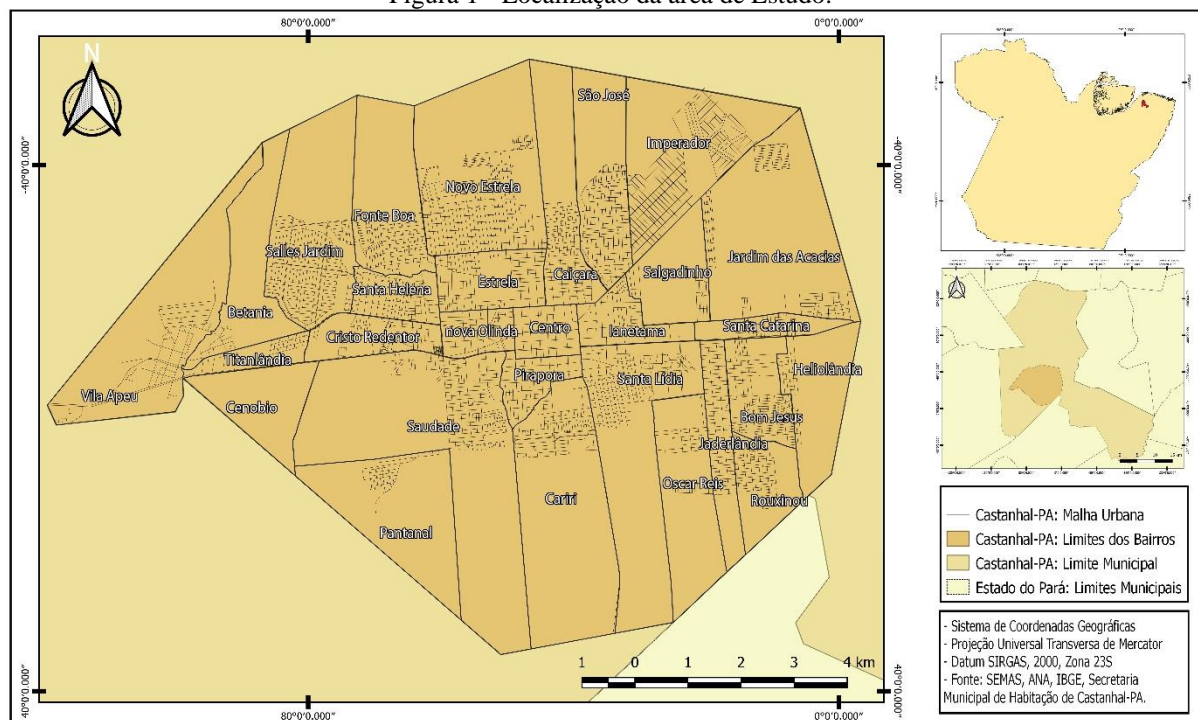
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Castanhal, encontra-se localizado na latitude de 01°17'49" Sul e longitude de 47°55'19" Oeste, sendo assim pertencente ao fuso UTM-3, zona 23s, estando inserido na Região intermediária de Castanhal e na região 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.

O município de Castanhal é dotado de uma posição geográfica estratégica, haja em vista que é recortada pela rodovia Federal BR-316. Distante aproximadamente 68 km da capital, Belém, o que faz dessa uma importante rota de entrada e saída de insumos da Região Metropolitana.

O perfil climático ao qual encontra-se inserido está classificado como equatorial úmido, segundo a classificação de Köppen, essa enquadra-se nos subtipos "Af", "Aw" e "Am" (clima tropical úmido ou clima equatorial), portanto mantendo as características do clima de floresta tropical, permanente úmido, configurada pela presença de altas temperaturas devido à aproximação com a linha do equador.

Figura 1 - Localização da área de Estudo.



Fonte: Os autores, 2020.

PRÉ-PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Foram obtidos dados dos sensores TM e OLI, satélites Landsat 5 e 8 respectivamente, através do United States Geological Survey (USGS), em decorrência das características vantajosas sobre as resoluções, espacial, espectral e temporal propícias para estudos ambientais. Foram adquiridas três imagens, pertencentes a órbita e ponto 223-06, datadas de 21 de junho de 1994, 13 julho de 2008 e 07 de junho de 2018. Optou-se pelo período do verão amazônico de forma a garantir a ausência de cobertura de nuvens sobre a área estudada.

As bandas 3, 4, 5 e 6 (TM) e 3, 4, 5 e 10 (OLI) que correspondem as faixas do vermelho (R), infravermelho próximo (IR), infravermelho Médio (IR_m) e termal (IRs) foram respectivamente agrupadas de modo que a realização das calibrações e correções, ocorressem de forma sequencial. Inicialmente as imagens que estavam projetadas com coordenadas UTM 23 Norte, foram reprojatadas e salvas segundo o sistema WGS-84, coordenadas UTM 23 Sul. Sendo novamente importadas para o software Qgis 3.4 “Madeira”, juntamente com um arquivo vetorial, no formato shapefile, contendo os limites dos bairros da cidade de Castanhal, adquirido junto a Secretaria Municipal de Habitação de Castanhal-PA.

Posteriormente se deu a correção geométrica entre as imagens Landsat 5 em relação à imagem Landsat 8. Para isso, adotou-se a coleta de pontos de controle de forma bem

distribuída pela extensão da imagem, visando-se obter um Erro Quadrático Médio (RMS) menor que meio (0,5) pixel.

Na etapa de processamento digital das imagens foi realizada a aplicação das equações de conversão dos parâmetros de níveis de cinza, para a obtenção da correção atmosférica, afim de se adquirir a temperatura das bandas termais, assim foi utilizada a ferramenta “calculadora raster”, disponível através do comando “raster” no Qgis 3.4.

Após a obtenção das Ts, as imagens foram recortadas utilizando o comando raster – extrair-recortar raster pela camada de máscara, sendo a camada de máscara o arquivo shapefile.

PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS DE SATÉLITE LANDSAT-5

Quanto aos efeitos nocivos que a radiação atmosférica, tem sobre as imagens de satélites principalmente as correspondentes ao sensor TM do Landsat-5, CALLEJAS et al (2011) destaca que:

O sinal emitido pelo alvo na superfície terrestre e registrado pelo satélite pode ser atenuado ou aumentado pelos efeitos de radiação atmosférica, sendo de fundamental importância remover os efeitos da atmosfera na utilização da imagem da banda termal. Para que estes efeitos possam ser corrigidos, existe a necessidade de estimar a transmitância e as radiações ascendentes e descendentes da atmosfera, convertendo a radiação interceptada no espaço pelo sensor do satélite para a radiação que deixa a superfície terrestre. Como esses valores dificilmente são conhecidos durante a passagem do satélite, existe a necessidade de estimar estes parâmetros para que seja feita a correção atmosférica avaliando, assim, com maior precisão a Ts [...] (CALLEJAS *et al.*, 2011, p.212).

Tendo isso em vista, o referido estudo, se baseia no procedimento proposto por Barsi et al (2003), que de acordo Callejas et al. (2011, p.212) subsidia a avaliação dos parâmetros mencionados para imagens datadas a partir de 1998. Contudo, devido ao fato que uma das imagens utilizadas no presente estudo, ser datada de 1994, optou-se por não se fazer a correção atmosférica na respectiva imagem, sendo tal procedimento realizado apenas na imagem do Landsat-5 referente a 2008.

[...] caso a correção atmosférica não seja feita, os valores de temperatura de brilho estimados são de 5-10K menores do que quando os valores são corrigidos pelos efeitos da atmosfera. Fazendo-se a correção da temperatura de brilho pela emissividade, sem, no entanto, fazer a correção atmosférica, observa-se um comportamento intermediário da temperatura superficial, conforme apresentado por Souza & Silva (2005). Ao se usar o procedimento proposto por Barsi *et al.* (2003), a temperatura superficial terrestre pode

sofrer ligeiro aumento (0-3K) em relação as temperaturas superficiais verdadeiras. No entanto, recomenda-se fazer a correção atmosférica e analisar as temperaturas superficiais em termos de diferença relativa da temperatura superficial entre as áreas urbanas e suburbanas. (BARSÍ *et al.*, 2003 apud CALLEJAS *et al.*, 2011, p.212).

Para o processamento da imagem Landsat-5 de 1994 seguiu-se a diretiva mencionada anteriormente, pautada na correção da temperatura de brilho pelos efeitos da emissividade, enquanto que, para as imagens termais de 2008 e 2018 foram feitas as correções atmosféricas, logo após a obtenção da radiância.

PROCESSAMENTO PARA OBTENÇÃO DA T_s NAS IMAGENS DE 1994 E 2008

O processamento nas bandas 3, 4, 5 e 6 da imagem Landsat-5 de 1994 e 2008, se deu inicialmente com a calibração radiométrica proposta por Markham e Baker (1987), que pode ser realizada a partir da fórmula a seguir (Equação 1):

$$\text{Eq1: } L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND$$

Onde: a e b = são as radiâncias espectrais mínima e máxima; ND = é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); i= corresponde as bandas (1, 2 e 6) do satélite Landsat5 - TM.

Os valores de radiância espectral obtidos com a calibração radiométrica anterior, foram então convertidos em refletância aparente, nas bandas 3 e 4 da imagem de 1994, através da fórmula expressa na equação (2), proposta por (CHANDER; MARKHAM, 2003).

$$\text{Eq2: } \rho_{ap} = \frac{\pi L_{\lambda} d^2}{E_{sol \lambda} \cos \theta_s}$$

Onde: ρ_{ap} = é a refletância exoatmosférica; L_{λ} = a radiância espectral avaliada no sensor do satélite em uma dada banda; d^2 = a distância terra-sol em unidades astronômicas; $E_{sol \lambda}$ = a irradiância solar atmosférica média em $W.cm^{-2} \mu m^{-1}$; θ_s = o ângulo zenital solar em graus.

Tendo terminada a calibração da radiância sobre a banda 6 da imagem de 2008, foi feita a correção atmosférica, de acordo com os princípios disponibilizados pela Atmospheric Correction Parameter Calculator, a qual fornece valores locais para Transmittance, Upwelling Radiance e Downwelling Radiance. Para isso foram incluídos os dados da Estação Meteorológica Automática do INMET localizada na Almirante Barroso-Belém-PA, distante

68 Km, de Castanhal. O cálculo de tal correção foi realizado de acordo com (COLL., *et al.*, 2010).

$$\text{Eq3: } CVr2 = \frac{CVr1 - L\uparrow}{\varepsilon\tau} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} L\downarrow$$

Onde: CVr2 = valor da célula da correção atmosférica como radiância; CVr1 = valor da célula como radiância da seção; $L\uparrow$ – upwelling radiance; $L\downarrow$ – downwelling radiance; τ – transmitância; ε – emissividade (0,95).

Para a estimativa da Temperatura da Superfície (Ts) na banda termal do Landsat 5 de 1994 foi necessária anteriormente a utilização de um índice para que se alcance a fórmula final. O índice obtido foi o Índice de Vegetação por diferença normalizada (NDVI), tendo por base as bandas 3 e 4, cujos seus valores foram anteriormente ajustados para refletância aparente. O cálculo de tal índice foi baseado na equação de Rouse *et al.* (1973). Encontra-se expresso na (Equação 4).

$$\text{Eq4: } NDVI = \frac{P_4 - P_3}{P_4 + P_3}$$

Sendo: P_4 e P_3 = os valores da refletância aparente para as bandas 4 e 3, que correspondem respectivamente ao infravermelho próximo e ao vermelho no landsat-5.

O cálculo seguinte encontra-se baseado na busca pela emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal, sendo essa etapa fundamental para a estimativa da temperatura, na presente pesquisa essa emissividade foi estimada utilizando-se o índice de Vegetação Normalizada (NDVI) seguindo a proposta de Van de Griend e Owen (1993) que se utiliza da (Equação 5).

$$\text{Eq5: } \varepsilon_{NB} = 1,0094 + 0,047 \ln \ln (NDVI)$$

Para a obtenção da Ts de 1994, utilizou-se a radiância espectral da banda termal (L-6), cujos valores dos números digitais (DN) haviam sido previamente convertidos para os valores de radiância termal L_{λ_i} (Ts) através da (Equação 1). Com base nisso e na emissividade de cada pixel (ε_{NB}), seguindo os pressupostos estabelecidos por Markham e Baker (1987), e também presentes em Chander e Markham (2003), foi realizada a conversão da radiância termal L_{λ} (Ts) emitida pela superfície terrestre em temperatura superficial (Ts). Com base na inversão da fórmula de Plank (Equação 6).

$$\text{Eq6: } Ts = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L\lambda_6} + 1\right)}$$

Sendo: T_s = a temperatura superficial terrestre em Kelvin; K_1 : 607,76 W.m-2.sr-1 μ m-1, a constante de calibração do Landsat 5; K_2 : 1260,56 W.m-2.sr-1mm-1, a segunda constante de calibração e $L_\lambda(T_s)$; $L\lambda_6$: Radiância termal superficial corrigida pelos efeitos da atmosfera; (ϵ_{NB}): ϵ_{NB}): Emissividade de cada pixel.

Já, para a obtenção da T_s de 2008, com base na correção atmosférica, a radiância (CVr2) 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).

$$\text{Eq7: } T = \left(\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_T} + 1\right)} \right)$$

Onde: (T) Temperatura efetiva em Kelvin (K); (K2) Constante de calibração 2 = 1260.56 (K); (K1) Constante de calibração 1 = 607.76 (K); (L_T) Radiância em Watts / (m2 sr μ m).

Haja vista que as T_s foram obtidas seguinte os valores de Kelvin (°K), passando a ser necessário a converter para Celsius (°C) devido essa ser a unidade adotada no Brasil. Para tanto, subtraiu-se 273,15, a temperatura obtida pelas equações 6 e 7, seguindo as prerrogativas salientadas por (PIRES; FERREIRA JR, 2015).

$$\text{Eq8: } Ts (^{\circ}C) = Ts - 273.15$$

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

PROCESSAMENTO PARA OBTENÇÃO DA T_s NA IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT-8

O processamento da imagem termal landsat-8 e tratamento da imagem TIRS, para o estabelecimento da Temperatura da Superfície Terrestre (T_s), esteve baseada nas metodologias observadas nos trabalhos de (PIRES; FERREIRA JR, 2015); (COELHO; 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 equação:

$$\text{Eq9: } L\lambda = (ML * Qcal + AL)L\lambda = (ML * Qcal + AL)$$

Onde: ($L\lambda$) indica a Radiância Espectral em Watts / (m² sr μ 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; (Qcal) 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 da cidade de Castanhal-PA, situado na BR-316. Para o referido cálculo foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{Eq10: } \left(L_T = \frac{(L\lambda - L_u - (1 - \epsilon)L_d)}{(\tau * \epsilon)} \right)$$

Onde: (L_T) Radiância de um alvo negro de temperatura cinética (W/ m²·sr· μ m); ($L\lambda$) Radiância espectral (W/ m²·sr· μ m); (τ) Transmissividade da atmosfera 0.83; (ϵ) Valor da Emissividade da superfície, 0.92. (Equivalente adequada para as superfícies urbanas); (L_u) Radiância emitida pela superfície (1.45 W/ m²·sr· μ m); (L_d) Radiância recebida pela superfície (2.43 W/ m²·sr· μ m).

Na etapa seguinte para obtenção T_s a radiância foi convertida em temperatura efetiva através da mesma fórmula da Equação (Eq:8) adotada por Callejas *et al.* (2011), sendo as constantes de calibração correspondentes a imagem do sensor OLI do Landsat-8, como apresentado seguir. Onde: (K2) Constante de calibração 2 = 1.321.0789 (K); (K1) Constante de calibração 1 = 774.8853 (K). Seguindo as recomendações indicadas pela Goddard Space Flight Center NASA (2004) objetivando converter os valores dos pixels de Kelvin para Celsius foi utilizada a (equação 6).

CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS PARA ESTIMAR O USO E COBERTURA DO SOLO.

Para a realização da classificação digital das duas imagens correspondentes ao Landsat-5 foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5, para o satélite Landsat-8 as bandas 3, 4, 5 e 8, que haviam sido previamente corrigidas geometricamente e recordadas.

Assim de forma inicial ocorreu a definição das classes de uso e ocupação do solo: I) Corpos hídricos: rios, lagos e lagoas naturais e artificiais; II) Área de Vegetação Densa: formação arbórea, arbustiva e campestre característicos da região Amazônica; III) Área de Vegetação Secundária: áreas antrópicas como as de cobertura vegetal intra-urbanas modificadas por ação antrópica, áreas de pastagens e agrícolas com cobertura conforme a classificação do IBGE (2013); IV) Área de Solo Exposto: áreas sem cobertura vegetal e abrange afloramento rochoso; V) Área Urbana Construída: corresponde aos espaços com concentração de construções residenciais, comerciais, industriais e vias.

Posteriormente, se deu a importação das bandas para o SIG (Sistema de Informações Geográficas) SPRING 3.4.5, onde foram realizadas as etapas de processamento digital das imagens. Afim de se obter os mapas de uso e cobertura do solo, para tanto, se deu a estruturação do banco de dados, formulação da composição colorida RGB, seguida pela aplicação do contraste linear. Tendo sido concluído esse momento nas bandas das imagens de 1994, 2008.

Os mesmos procedimentos foram adotados para a imagens de 2018 do sensor OLI, após a realização da reamostragem das bandas 3, 4 e 5, para a resolução espacial de 15m, através da transformação IHS-RGB, pela adoção da banda 8 (pancromática).

Seguindo 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 200 amostras de treinamento para cada classe temática, por meio de análise visual das feições da cobertura e uso da terra, posteriormente foi empregado para a classificação digital das imagens, pelo método supervisionado, o algoritmo baseado na média da distância de Bhattachary, que de acordo com Oliveira e Mataveli (2013) esse “[...] *é um classificador supervisionado por regiões, que utiliza a distância Bhattacharya para medir a separabilidade estatística entre cada par de classes espectrais*”. Sendo estabelecido um percentual de aceitação de 99%.

Uma vez, finalizada a etapa de classificação supervisionada e visando a estimação da extensão de abrangência de área das categorias temáticas, foi utilizada a ferramenta *Medida de Classes* do Software SPRING, sendo esse realizado a partir do mapeamento das classes

temáticas, tal procedimento ocorreu pela função *Mapeamento de Classes para Imagem Temático*.

Com o término da classificação, as imagens foram submetidas ao processo de validação de qualidade das classificações. Para isso foi gerada uma matriz de confusão, na qual a acurácia e a concordância das classes foram verificadas, seguindo as recomendações de Congalton (1991) optou-se pelos índices de Exatidão Global (G, Equação 10) e de Kappa (K, Equação 11) (LANDIS; KOCH,1977).

$$\text{Eq10: } G = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{N} = p_0 \quad \text{Eq11: } K = \frac{P_0 - p_e}{1 - p_e}$$

Onde: n_{ii} = representa o número de pixels da diagonal principal da Matriz de Confusão de cada classe; N = número de classes; P_0 = Concordância Total ou Exatidão Global; P_e = concordância esperada.

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 Landis e Koch (1977) (Tabela 1).

Tabela 1 - valores do índice Kappa

Kappa	Concordância
0.00	Sem concordância
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Moderado
0,61 a 0,80	Muito Bom
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de LANDIS; KOCH, (1977)

PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

O clima urbano, segundo a base teórico-metodológica de Monteiro (1976) compreende uma visão sistêmica, complexa e dinâmica, em que as interações estão em constante movimentos 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 (S.C.U.).

Segundo Honorato e Andrade (2012, p. 879) para estudar o clima urbano é necessário abranger todas as características da área de estudo, pois o meio físico dá suporte 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, canalização de rios, impermeabilização de vias, verticalização de residências, emissão de poluentes, etc. Em função de tal processo impactos como inundações, diminuição da qualidade do ar e formação de ilhas de calor, são desencadeados e maximizados pela falta de planejamento.

Um dos impactos provocados pela falta de planejamento é a formação de ilhas de calor, objeto de estudo neste trabalho, que resulta das especificidades da forma urbana e das modificações atmosféricas, criando nas cidades microclimas particulares.

As ilhas de calor se formam quando a temperatura do ar das áreas urbanas é mais alta que das áreas rurais em volta, sendo uma das características mais expressivas do processo de urbanização. Almeida Junior (2005, p. 11) afirma que “as altas temperaturas são verificadas em áreas onde o crescimento vertical é intenso, onde existam altas densidades demográficas e pouca quantidade de vegetação, principalmente em setores industriais e residenciais”. Os fatores citados pelo autor para a formação das ilhas de calor tornam-se cada vez mais presente não só em grandes centros urbanos como também em cidades médias, categoria de cidade a qual Castanhal (em estudo nesta pesquisa) se enquadra.

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 que modifica o balanço de energia da superfície, tráfego de veículos, uso do solo e ausência de vegetação arbórea (RIBEIRO; GONÇALVEZ; BASTOS, 2018).

A formação de ilhas de calor correlaciona-se a outras variáveis atmosféricas em uma complexa estrutura em cadeia que determinam o conforto fisiológicos dos indivíduos. Para a saúde humana a formação das ilhas de calor relaciona-se ao conforto térmico humano, sensação em que o indivíduo expressa satisfação com o ambiente térmico (FANGER, 1973). O conforto térmico está relacionado a temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação solar (FROTA & SCHIFFER, 2001), elementos diretamente associados ao desempenho humano e doenças provocadas pela exposição excessiva a altas temperaturas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Com o término da classificação do uso e cobertura do solo no SIG SPRING, foi produzido o mapa temático. A (Figura 3) reproduz a espacialização das classes temáticas de uso e cobertura do solo da área de estudo, tornando possível observar a predominância da classe: Área Urbana Construída, que em 1994 apresenta; 15,840 km², em 2008; 21,261 km² e em 2018; 30,436 km² da área total de estudo que corresponde a 110,879 km² (tabela - 2). Essa, contudo na imagem de 1994, 2008 e 2018 apresentam confusão com as classes Área de Solo Exposto que constitui respectivamente 21%, 13%, 20% (tabela - 3), essa confusão na classificação supervisionada decorre da existência de regiões com características espectrais relativamente familiares entre ambas as classes. Apesar disso, se observa nas imagens de 2008 um acréscimo de 5,421 km² na classe Área Urbana Construída, em relação ao ano de 1994, sendo as frentes de expansão as zonas Leste, Norte e Sul ligados a construção de áreas de ocupação habitacional. A mesma tendência de 2008 continua presente em 2018, com acréscimo de equivalente a 9,175 km². Novamente o fator catalizador corresponde a emergência de novas áreas industriais e residenciais ligadas do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) do Governo Federal.

Tabela 2 - valores das dimensões das classes de uso e cobertura do solo, em km², para 1994, 2008 e 2018.

Classes de Uso e Cobertura	Perímetro da Área em Km ²		
	Ano de 1994	Ano de 2008	Ano de 2018
Área Urbana Construída	15,840 Km ²	21,261 Km ²	30,436 Km ²
Área de Solo Exposto	11,088 Km ²	16,286 Km ²	10,182 Km ²
Área de Vegetação secundária	29,414 Km ²	38,475 Km ²	34,489 Km ²
Área de Vegetação Densa	54,537 Km ²	34,857 Km ²	35,639 Km ²
Área de Corpos hídricos	146 Km ²	191 Km ²	133 Km ²
Perímetro da Área de Estudo	110,879 km ²		

Fonte: Elaborado pelo autor.

A classe Área de Solo Exposto, demonstrou acréscimo de 5,198 Km² entre 1994 a 2008 e demonstrou regressão de 6.104 Km² de 2008 a 2018. Esse comportamento de regressão pode estar associado a dois fatores, o primeiro se refere ao adensamento de construções habitacionais e comerciais em 2018 sob as áreas que em 2008 correspondiam a classe Área de Solo Exposto. A segunda diz respeito ao elevado grau de confusão com as classes Área Urbana Construída e Área de Vegetação Secundária (tabela - 3), o que permitiu inferir que o acréscimo de área sobre a classe solo exposto está incoerente com a realidade.

Tabela 3 - Matriz de confusão ou de erro dos mapas de uso e cobertura do solo de 1994, 2008 e 2018. Juntamente com os respectivos valores do índice Kappa e Exatidão Global.

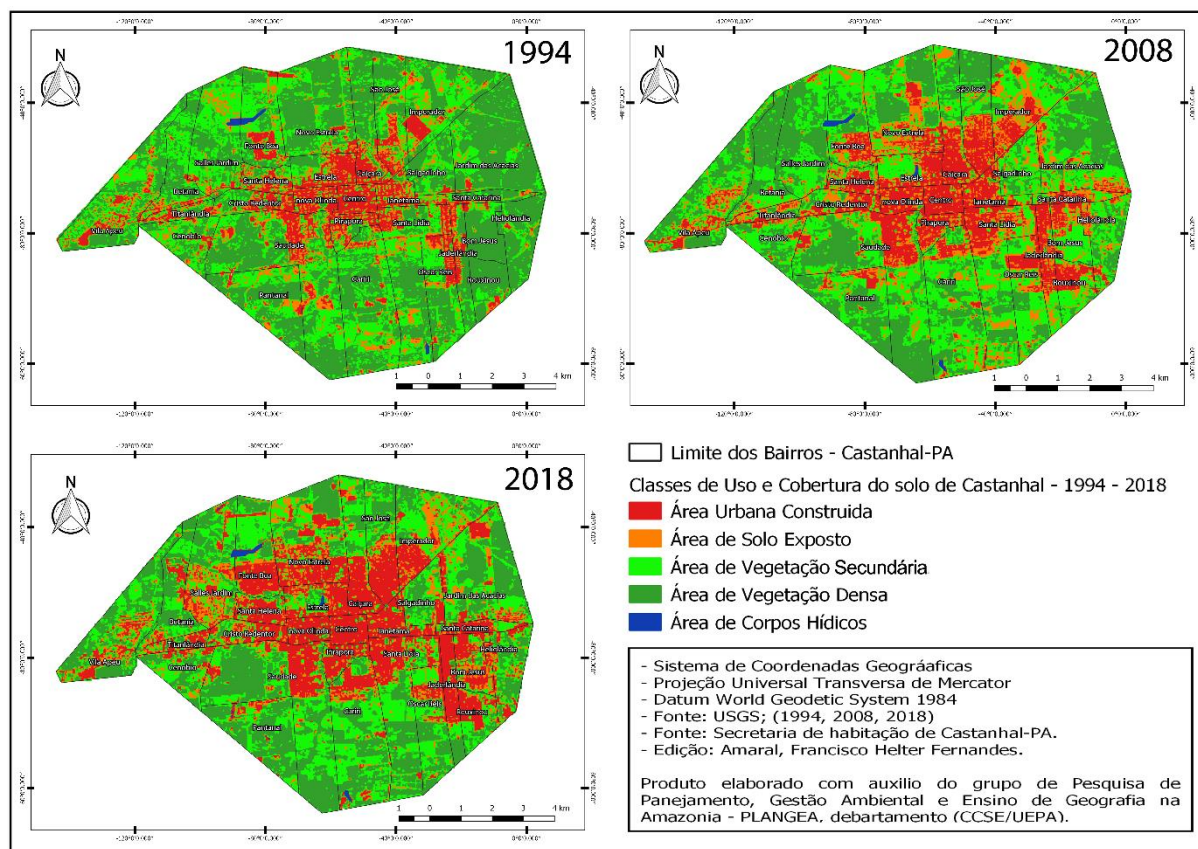
	Área Urbana Construída	Área de Solo exposto	Área de Vegetação	Área de Vegetação	Área de Corpos hídricos

			secundaria	Densa	
Área Urbana Construída	71%	20%	2%	-	3%
	79%	15%	5%	-	5%
	75%	15%	2%	-	20%
Área de Solo Exposto	20%	70%	5%	-	2%
	13%	75%	10%	3%	15%
	21%	77%	9%	-	10%
Área de Vegetação Secundária	7%	10%	90%	5%	-
	5%	10%	80%	12%	-
	3%	5%	89%	10%	5%
Área de Vegetação Densa	-	-	3	93%	-
	-	-	5	85%	-
	-	-	-	90%	5
Área de Corpos Hídricos	2%	-	-	2%	95%
	3%	-	-	-	80%
	1%	3%	-	-	60%
Índice Kappa 1994	76%	Índice Kappa 2008	79%	Índice Kappa 2018	85%
Exatidão Global 1994	88%	Exatidão Global 2008	93%	Exatidão Global 2018	97%

Fonte: Elaborado pelo autor.

É identificado que a classe temática Área de Vegetação Secundária, apresenta a mesma tendência observada nas classes; Área Urbana Construída e Área de Solo Exposto, com incremento de 9,061 km² entre 1994 a 2008. Contudo, no intervalo seguinte de 2008 a 2018 se tem um encolhimento de 3,218 km² na área. O comportamento observado no primeiro intervalo se deve em decorrência da substituição de floresta por áreas de pastagem na região em consonância com a confusão gerada pelo classificador. O declínio no intervalo de 2008 a 2018 se deve a expansão das classes antropizadas, referência ao solo exposto e urbanizada.

Figura 2 – Castanhal (PA): mapa das classes de uso e cobertura do solo dos anos de 1994-2008-2018, gerada a partir da composição colorida RGB (banda 3, 4, 5) do Landsat-5 e (3, 4, 5) do Landsat -8.



Fonte: Os autores, 2020

Em contrapartida as classes temáticas anteriormente apresentadas, que demonstraram acréscimo de áreas no intervalo entre 1994 a 2008. Na classe Área de vegetação densa demonstrou retração em sua área de abrangência equivalente a 19,680 km². Isso se deve a expansão das demais formas de uso e cobertura do solo sobre essa feição durante o respectivo intervalo de tempo. Todavia, no intervalo de 2008 a 2018 é encontrado um crescimento de 0,782 km², podendo ser decorrente tanto de erros da classificação, quanto de uma diminuição da intervenção antrópica sob essas áreas no local de estudo. Comportamento similar é encontrado na classe Área de Corpos Hídricos, estando mais associado a confusão na classificação.

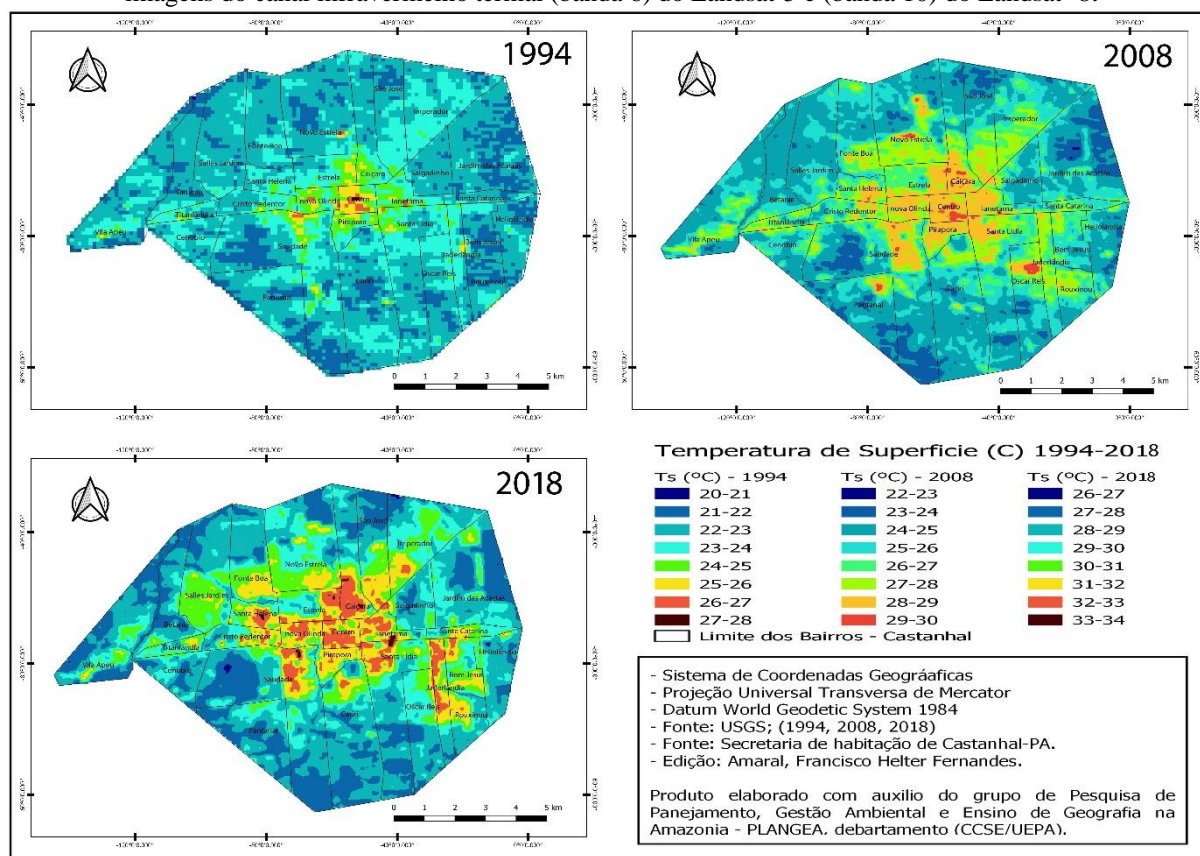
De acordo com os valores expressos no (tabela - 3), referentes a matriz de confusão, observa-se que os valores do índice Kappa demonstram-se reduzidos se comparados aos da Exatidão global. Segundo Brites (1996) isso se deve ao fato da Exatidão Global não considerar os erros de omissão e comissão presentes na matriz de confusão, todavia o Coeficiente Kappa passa por um processo inverso gerando valores de caráter reduzido Bernardes (2006), por conta de esse levar em consideração para o seu cálculo os elementos fora da diagonal principal da matriz de confusão. Cabe destacar que ao compara os valores dos índices Kappa (tabela - 3) com nível de concordância adaptado do trabalho de Landis e

Koch (1977) temos as classificações de 1994 e 2008 classificadas como, “Muito Bom” e a de 2018 como, “Excelente”.

DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E 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 1994, os valores mínimos de 21°C, nos bairros afastados da Área Central da Cidade e uma média variante entre 25-28°C, concentrado no Centro. E nos bairros do entorno como: Pirapora, Ianetama, Nova Olinda, Estrela e São José, foram encontradas medias de Ts variando entre 24-26°C (Figura 3).

Figura 3 – Castanhal (PA): mapa das ilhas de calor superficiais dos anos de 1994-2008-2018, gerada a partir das imagens do canal infravermelho termal (banda 6) do Landsat-5 e (banda 10) do Landsat -8.



Fonte: Os autores, 2020.

Vale destacar, que os sensores do infravermelho termal possuem a capacidade de registrarem a intensidade da radiação equivalente a temperatura radiante aparente do terreno ou temperatura radiométrica, em decorrência da emissividade dos objetos, partindo disso temos que esses não são capazes de obter a temperatura cinética verdadeira dos objetos.

Contudo, devido adoção dos valores de emissividade para amortizar a diferença das fontes de corpos negros, Baptista (2012), para a fonte de objetos naturais, se pode aproximar dos valores de T_s verdadeiros. Vale salientar, devido a emissividade está entre os intervalos de 0 e <1 , a assinatura da temperatura radiométrica captada pelo sensor sempre será inferior a temperatura real ou cinética, assim os objetos que possuem assinatura de emissividade próximos a 1, são aqueles com valores mais próximos de sua assinatura cinética ou real (AMORIM, 2017, p.126).

Destaca-se que a imagem termal de 1994, não passou por correção atmosférica, sendo feita apenas a correção da temperatura de brilho pela emissividade. De acordo com o método proposto por Barsi *et al.* (2003). Fator que, segundo Souza e Silva (2005) ocasiona um comportamento intermediário sobre os valores da T_s , em relação à quando se é realizada a correção atmosférica. Callejas *et al.* (2011, p.212) ainda ressalta o fato do procedimento proposto por Barsi *et al.* (2003), provocar sobre a imagem uma elevação de até 3K em relação a T_s verdadeira.

Na imagem de 2008, as temperaturas mínimas, estavam entre 23-26°C configuradas em verdadeiras, áreas mitigadoras da temperatura dentro dos bairros densamente urbanizados, embora, grande parte dessas temperaturas, “amenas”, terem sido registradas nos espaços do entrono da área urbanizada, onde se tem a preservação da cobertura natural.

Dentro da zona urbana, tem-se presente as T_s entre 28-29°C onde são encontradas de forma adensadas e abrangendo os bairros: Pirapora, Ianetama, Santa Lídia, Nova Olinda, Estrela, São José e Cristo Redentor, (Figura 2). Vale destacar a presença de machas de T_s com 30°C principalmente sobre os bairros: Centro e Caiçara. Contudo tal assinatura, também se faz presentes em outros três bairros mais afastados do Centro, são eles: Oscar Reis, Pantanal e Novo Estrela. Os “pontos de frescor” dentro da área urbanizada são representados em sua maioria pelas; Áreas de Proteção Permanente (APPs) e Unidade Conservação (UC). Representando verdadeiras “ilhas de amenidades de temperatura” (ARAÚJO *et al.*, 2016, p.618).

Ao comparar a T_s de 1994 com 2008, observou-se uma elevação nas máximas da temperatura sobre os bairros centrais da Cidade em 3°C. Haja vista, que em 1994 foram detectadas máximas de T_s entre 26-27°C, já em 2008 as máximas atingiram os intervalos de 29-30°C. Enquanto os bairros que em 1994 apresentavam temperatura mínima variando entre 20-23°C, em 2008 passam a ser estimados entre 23-26°C, demonstrando uma elevação de 3°C, tanto nas mínimas, quanto nas máximas, indicando um progressivo aquecimento na superfície da mesma.

O efeito de progressivo aquecimento sobre a cidade de Castanhal é reforçado, observando o cenário de 2018. Onde foram identificados novamente sobreaquecimentos nas máximas e mínimas de Ts. Além, do adensamento das Ts com temperaturas elevadas. Com isso, as mínimas de Ts em 2018 passam a estar entre os intervalos de 26 e 30°C, em contrapartida aos 23° e 26°C de Ts mínima identificados em 2008, indicando novamente elevação de 3°C sobre as mínimas, enquanto as máximas em 2019 ficaram entre 33 e 34°C, sendo 4°C acima das máximas de 2008, que registrou Ts entre 29 e 30°C.

quanto a Ts de 2018, observa-se machas Ts entre 33-34°C sobre os bairros: Ianetama, Santa Lúdia, 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 Lúdia, 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 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. Assim, para a data de 21 de junho de 1994 foi registrado volume de precipitação equivalente a 18,3 mm, contudo durante o imageamento não foi detectado a presença de nuvens de chuva, o que nos leva a pressupor que tal precipitação se deu após o horário de imageamento, cabe ressaltar que nos cinco dias anteriores a data de passagem do satélite, foi registrada precipitação total de 39,5mm, sendo 20 mm apenas no dia anterior ao imageamento.

No dia 07 junho de 2008, não foi detectada precipitação sobre a área de estudo e dos cinco dias anteriores apenas nos dois dias anteriores a captura da imagem ocorreu precipitação, sendo o total precipitado de apenas 4,6mm. no dia 07 de junho de 2018 também 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 ocupação do solo de 1994 com o mapa de espacialização das Ts no referido ano, constata-se que as Ts mais elevadas foram registradas em locais de concentração da classe Área Urbana Construída, seguida pelas classes Área de Solo Exposto e Área de Vegetação Secundária. Já as Ts amenas, foram encontradas junto as classes, Área de Vegetação Densa e Área de 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).

A classe Área Urbana Construída em 1994, aparece sendo compreendida por cinco grupos de Ts, sendo esses: 23-24°C, 24-25°C, 25-26°C, 26-27°C, 27-28°C, os grupos que compreendem os intervalos 24-26°C, aparecem predominantes sobre esta classe, abarcando principalmente os bairros: Estrela, Caiçara, Ianetama, Santa Lídia, Nova Olinda, Pirapora, Cristo Redentor e o bairro Centro, que também é composto pelo intervalo 26-27°C e 27-28°C.

Essas maiores taxas de Ts decorrem do referido local concentrar as ofertas de bens e serviços, portanto, caracterizado pelo adensamento de construções e presença reduzida da cobertura vegetal.

No entanto, o grupo entre os intervalos de 24-25°C demonstra um comportamento intermediário entre as classes Área Urbana Construída, Área de Solo Exposto e Área de Vegetação Secundaria, estando esse grupo de Ts abarcando as áreas periféricas, onde o adensamento de construções é reduzido junto a presença de Área de Solo Exposto misturado em dimensões de pixel com a Área de Vegetação Secundaria. Podendo ser a influência dessa cobertura vegetal sobre o pixel 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). Quanto as classes Área de Vegetação Densa e Área de Corpos hídricos, estão entre os intervalos de 21-22°C e 22-23°C. Ressalta-se a não dissociação da temperatura dos corpos hídricos em relação a paisagem de seu entorno que em sua maioria é comporta por vegetação natural.

Em 2008, se observa a elevação das Ts variando entre 2 a 3°C sobre as diferentes classes, se comparada com o cenário de 1994. Além de um adensamento e expansão da Área Urbana. O que influenciou diretamente os intervalos que caracterizam as ilhas de calor em 2008. Nesse novo cenário as máximas, que correspondem as ilhas de calor, estão entre os intervalos de 29-30°C, representadas em manchas de calor pontuais concentradas sobre o bairro Centro, mas também se fazendo presente nos bairros: Saudade, Pantanal, Oscar Reis, Caiçara, Novo Estrela e Santa Lídia. Porém, com dimensões reduzidas.

As Ts predominantes sobre a Classe Área Urbana Construída compreendem os intervalos 27-28°C e 28-29°C. Destaca-se que o segundo intervalo se faz presente nas áreas de maior adensamento urbano, explicando o fato de estar concentrado no bairro Centro e nos demais do entorno. Enquanto que o primeiro intervalo (27-28°C) configura as áreas de menor adensamento de construções abarcando também locais onde se tem a classe Área de Solo Exposto, atuando como intermediário entre essas classes. Cabe aqui salientar a existência de uma confusão entre as assinaturas de Ts que caracteriza a classe solo exposto, havendo similaridades entre essa e os espaços com construções urbanas menos adensadas. Tal comportamento está relacionado com a redução do albedo sobre o solo exposto, o que acarreta diminuição da radiação de pequeno comprimento de onda refletida. Segundo, Amorim (2017) esse fato pode gerar Ts superiores às do ambiente urbano.

O intervalo 26-27°C, atua como intermediária entre as classes Área de Solo Exposto e Área de Vegetação Secundária. No que se refere as classes Área de Vegetação Densa e Área de Corpos hídricos, podemos observar que essas preservaram em 2008 o comportamento similar ao de 1994, caracterizada pela não distinção em seus intervalos, correspondendo a três diferentes grupos de Ts, sendo eles; 23-24°C, 24-25°C e 25-26°C.

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 das classes Área de Corpos hídricos e Área de Vegetação Densa em um mesmo espaço, resultantes em pontos onde a Ts é reduzida em até 2°C.

Seguindo a 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 [...]”, partindo dessa definição, podemos inferir que dentro da Área urbanizada de Castanhal, se tem a presença de ilhas de calor urbanas (ICUs) em todos os anos analisados. Contudo sua intensidade e valor demonstram progressivo crescimento ao longo dos intervalos de tempo.

Em 2018, a classe Área Urbana Construída, apresenta-se composta 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 ICUs. Encontradas entre os intervalos de 32-33°C e 33-34°C, enquanto que o intervalo 33-34°C aparece de forma pontual, como já mencionado, 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 áreas construídas nas regiões centrais da cidade, 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, amortizam a formação de ICUs mais intensas, assim como a melhor circulação do ar sobre as vias. Já os intervalos 30-31°C demonstram o comportamento intermediário entre as classes Área Urbana Construída e Área de Solo Exposto.

As Ts entre 29-30°C configura-se quanto intermediária entre as Áreas de Solo Exposto, Área de Vegetação Secundária e Área de Vegetação Densa, ressaltar-se que esse intervalo representa maior afinidade de interlocução entre as duas últimas classes citadas. Todavia, como já mencionado em 1994 e 2008, a classe Área de Corpos hídricos permanece

demonstrando elevada interação com as Áreas de Vegetação Densa. Contudo, devido a antropização do solo e substituição da cobertura vegetal natural, no entorno dos corpos hídricos. Em 2018 torna-se possível dissociar os valores de Ts da classe Área de Corpos hídricos, quando está interagindo com a vegetação secundária. Haja vista que os corpos hídricos demonstram Ts entre os intervalos de 28-29°C.

No entanto, a classe Área de Vegetação Densa aparece composta pelos intervalos 26-27°C, 27-28°C e 29-30°C. Portanto, interagindo tanto com a Vegetação Secundária, quanto com os Corpos hídricos. Ressalta-se a permanência da tendência de diminuição da Ts registrada sobre a classe Área de Vegetação Densa conforme se distancia da zona urbana ou encontra-se interagido com corpos hídricos.

Sobre a área urbana da cidade de Castanhal observa-se a presença de quatro tipos de materiais de cobertura: as coberturas de concreto (nos edifícios), as telhas cerâmicas, as de fibrocimento e as metálicas (alumínio, zinco e aço galvanizado). As coberturas de cerâmicas são características das residências de classe baixa e média, compondo extensa área dentro dos bairros periféricos e de entorno ao centro da cidade, as coberturas de fibrocimento abrangem as áreas mais periféricas sendo de pouca expressividade dentro da área de estudo, já as metálicas prevalecem sobre as áreas comerciais e industriais no bairro Centro e nos de seu entorno onde essas atividades econômicas são preponderantes.

O comportamento observado até então sobre a relação entre as classes de uso e cobertura do solo 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 seu 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. Contudo, 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 dos sensores TM e 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 expostos.

Também foi observado a progressiva elevação das Ts mínimas e máximas ao longo dos intervalos de tempo analisados, estando a média de aumento entre 2 e 3°C em todas as formas de uso e cobertura do solo, incluindo as áreas com cobertura vegetal, apesar de essa continuar representando as mínimas em comparação as demais classes, demonstrou que vem sofrendo com aumento progressivo em seus valores. Nesse sentido, com base nas análises entre o uso e cobertura da terra e a temperatura de superfície, se pode inferir que a ilha de calor de superfície em Castanhal-PA, apresenta padrão similar ao encontrado em outras cidades, onde as altas temperaturas estão associadas a concentração de objetos de natureza antrópica (concreto, asfalto, às telhas de fibrocimento, cerâmica e metálicas). Enquanto os menores valores de temperaturas estão relacionados com a densidade de cobertura vegetal arbórea e copos hídricos.

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 µm) [image sensors in the thermal band (8 – 14 µm)]. 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/liv8161_5.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.