

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA SUPERFÍCIE URBANA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Giovanna Barroso Cavalcante Barata

Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil¹

giovannacbarata@gmail.com

Marcelo Brenner Correa Coelho

Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil¹

marcelobrennero4@gmail.com

Norma Ely Santos Beltrão

Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil¹

normaely@uepa.br

Dênis José Cardoso Gomes

Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Universidade do Estado do Pará, Belém, Pará, Brasil¹

deniss.feg@gmail.com

RESUMO: As áreas urbanas e a Evapotranspiração (Et) são componentes importantes para o balanço hídrico e energético, além de variáveis cruciais para funções vinculadas aos ecossistemas. O objetivo desta pesquisa foi compreender e mapear a variabilidade da Et (1999 a 2020) diante do processo de mudança de paisagem na Região Metropolitana de Belém (RMB). Para o cálculo dos parâmetros do modelo de Et urbana e a geração dos mapas, foi utilizado o software livre QGIS na versão 3.16, e através da ferramenta AI.evapo.mh estimou-se a Et. Os destaques são a comparação das imagens RGB e NDVI de 21/07/1999 e 14/07/2020, onde constatou-se expansão urbana sobre áreas arborizadas na RMB. A urbanização contribuiu na transformação de ambientes naturais em espaços antropizados, onde houve mudanças na composição natural da paisagem e conforto térmico, e pode ter contribuído na variação do microclima. Com relação a Et (1999 e 2020), verificou-se valores médios menores em 1999 em relação a 2020, com valores estimados para os anos de 1999 (Et_{min}=3,08 mm e Et_{max}=3,73 mm) e 2020 (Et_{min}=3,91 mm e Et_{max}=5,08 mm). Os valores obtidos para a RMB corroboram com alguns resultados observados na literatura científica em relação ao aumento da Et ao longo dos anos em decorrência da diminuição da cobertura vegetal. O crescimento da região esteve ligado à diminuição da cobertura vegetal, o que influenciou na temperatura e Et. Portanto, a Et urbana é um importante parâmetro a ser monitorado e merece estudos mais aprofundados para analisar o seu comportamento, bem como as variáveis que o influenciam.

Palavras-chave: Meteorologia; Evapotranspiração; Mapeamento; Amazônia Setentrional.

SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF URBAN SURFACE EVAPOTRANSPIRATION IN THE METROPOLITAN REGION OF BELÉM

ABSTRACT: Urban areas and Evapotranspiration (Et) are important components of water and energy balance, as well as a key variable for functions linked to ecosystems. The objective of this research was to understand and map the behavior of Et (1999 a 2020) in the face of the process of landscape change in the Metropolitan Region of Belém (RMB). To calculate the parameters of the urban Et model and generate maps, the free software QGIS version 3.16 was used, and through the tool AI.evapo.mh it was estimated the evapotranspiration. The highlights are comparing the RGB and NDVI images of 07/21/1999 and 07/14/2020, where it was found that in the RMB there was urban expansion over wooded areas. Urbanization contributes to the transformation of natural environments into urban spaces, changing the natural composition of the landscape and thermal comfort, and may have contributed to the variation of microclimate. Concerning Et (1999 and 2020), mean values were lower in 1999 than in 2020, with the estimated values of Et_{min}=3.08 mm and Et_{max}=3.73 mm for the 1999

¹ Endereço para correspondência: Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais/UEPA – Rua do Una, nº 156 – Telégrafo, CEP: 66050-540, Belém-PA, Brasil.

image, and the values of $E_{min}=3.91$ mm and $E_{max}=5.08$ mm for the 2020 image. The values obtained for the RMB corroborate some results observed in the scientific literature regarding the increase in Et over the years as a result of the decrease in vegetation cover. The growth of the region was linked to the decrease in vegetation cover, which influenced temperature and Et. Therefore, urban Et is an important parameter to be monitored and deserves further studies to analyze its behavior, as well as the variables that influence it.

Keywords: Meteorology; Evapotranspiration; Mapping; North Amazon.

VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LA SUPERFICIE URBANA EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE BELÉM

RESUMEN: Las áreas urbanas y la Evapotranspiración (Et) son componentes importantes para el balance hídrico y energético, además de variables cruciales para funciones relacionadas con los ecosistemas. El objetivo de esta investigación fue comprender y mapear la variabilidad de la Et (1999 a 2020) en el contexto del proceso de cambio de paisaje en la Región Metropolitana de Belém (RBM). Para calcular los parámetros del modelo de Et urbana y generar los mapas, se utilizó el software libre QGIS en su versión 3.16, y a través de la herramienta *AI.evapo.mh* se estimó la Et. Los puntos destacados son la comparación de las imágenes RGB y NDVI del 21/07/1999 y 14/07/2020, donde se observó una expansión urbana sobre áreas arboladas en RGB. La urbanización ha contribuido a la transformación de entornos naturales en espacios antropizados, donde ha habido cambios en la composición natural del paisaje y el confort térmico, y puede haber contribuido a la variación del microclima. En cuanto a Et (1999 y 2020), se observaron valores promedio más bajos en 1999 en comparación con 2020, con valores estimados para los años 1999 ($E_{min}=3,08$ mm y $E_{max}=3,73$ mm) y 2020 ($E_{min}=3,91$ mm y $E_{max}=5,08$ mm). Los valores obtenidos para la RBM coinciden con algunos resultados observados en la literatura científica en relación al aumento de la Evapotranspiración a lo largo de los años debido a la disminución de la cobertura vegetal. El crecimiento de la región estuvo relacionado con la disminución de la cobertura vegetal, lo que influyó en la temperatura y la Evapotranspiración (Et). Por lo tanto, la Et urbana es un parámetro importante que debe ser monitoreado y merece estudios más profundos para analizar su comportamiento, así como las variables que lo influencian.

Palabras clave: Meteorología; Evapotranspiración; Cartografía; Amazonía Septentrional.

Introdução

Muitos países em desenvolvimento têm sofrido com o ritmo acelerado da expansão urbana visto o rápido crescimento econômico e populacional, sendo a urbanização uma das forças motrizes mais importantes da mudança ambientais globais (JAMEI et al., 2022; KAISER et al., 2022). Em uma escala territorial menor, as cidades têm sido impactadas pela crescente elevação da temperatura devido à substituição de áreas verdes por áreas urbanizadas como novas construções residenciais ou comerciais (HOFFMAN; SHANDAS e PENDLETON, 2020; MCDONALD et al., 2021), compelidas pela pressão de ocupação do espaço urbano. A urbanização é tipicamente acompanhada pela transformação de vegetação, solo e outros tipos de cobertura superficial em cimento, asfalto, concreto e outras superfícies impermeáveis. As áreas urbanas são importantes transportadoras de vida humana e atividades produtivas, onde há impacto significativo nas mudanças climáticas regionais e nas trocas de energia.

As mudanças generalizadas na superfície e a emissão de calor antropogênico nas áreas urbanas não apenas alteram as características regionais de radiação e condução de calor da superfície, mas também têm um impacto significativo no balanço energético regional, ciclo da água e condições atmosféricas (LI et al., 2014). Além disso, fatores urbanos como densidade populacional e consumo de energia, aliadas às condições climáticas e a poluição atmosférica, influenciam na formação e aprimoramento do efeito da ICU (WANG et al., 2020). Conforme ESTOQUE et al. (2017), com a crescente expansão do ambiente urbano, seja em termos de área ou em população, percebe-se o surgimento de Ilhas de Calor Urbana (ICU). A ICU é um fenômeno da interação entre fatores naturais (clima) e antrópicos, em que resulta na maior concentração de calor principalmente no centro urbano de um município em relação a região circundante (DEILAMI et al., 2018; SANGIORGIO; FIORITO e SANTAMOURIS, 2020).

O efeito negativo que a ICU tem no meio ambiente urbano, vários estudos exploraram os fatores que o mediam com o objetivo de reduzir seu impacto. Uma conclusão comum destes estudos é que os principais fatores que atuam para atenuar tais efeitos são a vegetação e a água devido às suas funções de resfriamento e umidificação (MOHAJERANI et al., 2017). Em geral, os corpos d'água nas cidades são frequentemente isolados e tendem a estar localizados em parques urbanos. Com isso, destaca-se o papel da vegetação no alívio do ambiente térmico e na melhoria do conforto térmico humano (DU et al., 2017).

A vegetação urbana possui vários tipos serviços ecossistêmicos, como arborização em parques e jardins recreativos, loteamentos, além de manutenção da qualidade da água (GARCIA et al., 2021). Uma abordagem para aliviar o efeito de ICU é usar a vegetação como sombreamento nos terrenos da construção para evitar o aquecimento solar direto. Foi provado, que a área e a densidade da vegetação podem ser usadas como índices para o grau de mitigação das ICU's, assim como outros índices usados (PORANGABA; AMORIM, 2019; YAN et al., 2020), como o Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI).

Portanto, a deterioração da condição ambiental térmica (temperatura e ICU) é um sinal significativo do processo de ocupação urbana. O avanço da urbanização, poluição do ar, emissões antrópicas de calor e variações superficiais subjacentes podem levar ao acúmulo de calor, e a confirmação desses impactos pode auxiliar no planejamento de melhoria deste efeito térmico no ambiente urbano (MAIA, MORAES NETTO e COSTA, 2019). Os espaços verdes e as massas de água no ambiente urbano têm efeitos mitigadores diretos e podem melhorar significativamente o microclima urbano especialmente em estações (YAO et al., 2017) e anos mais quentes (MARANHOLI; GONZALEZ, 2018).

As áreas urbanas são importantes elementos que sustentam a vida humana e as atividades produtivas, sendo desejável que se busque compreender os mecanismos de regulação das ICU e a melhoria do clima urbano local. Neste sentido, a evapotranspiração (Et) surge como elo fundamental para ecossistemas (GU et al., 2021), assim como a interação com ciclos climáticos (SORI et al., 2018; CAVALCANTE et al., 2019), balanços de água e energia regional (ANAPALLI et al., 2018; BUILLES-JARAMILLO; POVEDA, 2018). A Et consiste na transpiração pela vegetação e na evaporação da água no solo que envolve a mudança de fase da água líquida em vapor de água, sendo acompanhada pela absorção de energia (YU et al., 2021). Apesar da Et possuir atualmente vários conceitos e denominações, Miralles et al. (2020) destacam que a Et total terrestre pode ser definida como a combinação de três fluxos hídricos: evaporação, transpiração e perda por água interceptada.

Portanto, a Et pode ter um efeito de resfriamento significativo no ambiente circundante com temperaturas mais frias, dependendo da seleção cuidadosa de espécies de vegetação que podem efetivamente aprimorar o efeito de resfriamento (SUN et al., 2016). Embora o papel da Et seja importante para a regulação do ambiente térmico urbano, as características espaciais do seu efeito de resfriamento e a sua quantificação em escala regional raramente são estudadas. Isso se deve principalmente aos desafios de medir e modelar Et em áreas urbanas com superfícies altamente heterogêneas (WANG et al., 2020). Para mitigar os efeitos da ICU e melhorar o ambiente térmico nas cidades por meio de planejamento urbano, é importante avaliar quantitativamente os efeitos do espaço verde e do ambiente térmico, especialmente o efeito de resfriamento e o mecanismo da Et da vegetação, pois são fatores controláveis através do desenho de seus elementos urbanos.

Desta maneira, políticas públicas que considerem o planejamento urbano tem necessidade de compreender quanto de vegetação (áreas verdes, parques e praças) deve ser estabelecida a fim de evitar o aquecimento de determinada zona urbana (OLIVEIRA; SALLES, 2020; PIMENTA; WERNECK, 2021), visto a ocorrência da regulação climática e atenuação das ilhas de calor quando se conserva ou cria-se novas áreas de vegetação (MARANDO et al., 2021). Para atender essa demanda, estudos baseados em dados de campo muito detalhados são custosos e complexos, por isso a Et estimada a partir de sensoriamento remoto são mais viáveis para suprir a escassez de medições espaço-temporais (WEERASINGHE et al., 2020). No entanto, os

recentes avanços permitiram a estimativa regional de Et oriundos de dados de imagens de satélite (ROCHE et al., 2020; ANDRADE et al., 2021).

O uso de sensoriamento remoto para obtenção da Et já tem um longo histórico na literatura científica, tanto em escala global (ELNASHAR et al., 2021) como regional (O'CONNOR et al., 2019), complementando os limitados dados de medições “in situ”. Para entender melhor a variabilidade espaço-temporal da Et, vários estudos de modelos de estimativa foram realizados em várias partes do mundo como América do Sul (OLIVEIRA et al., 2020; DEGANO et al., 2021), América do Norte (ROCHE et al., 2020), África (BURNETT; QUETIN e KONINGS, 2020), Austrália (ZHUANG et al., 2020), Europa (HARRIS et al., 2017). No entanto, apesar da vasta literatura através de dados de sensoriamento remoto, poucos trabalhos trataram da Et em superfície urbana (MOREIRA et al., 2019).

Diferente das áreas rurais onde há necessidade de avaliações frequentes, até diariamente, estudos dos índices de Et em superfície urbana são realizados com menor periodicidade (SINGER et al., 2021). Para esses estudos, os modelos baseados no Balanço Energético de Superfície (BES) estão ganhando crescente popularidade (ARYALEKSHMI et al., 2021) por causa dos dados disponíveis da Temperatura da Superfície Terrestre (TST) obtidos pelas bandas termais das imagens de satélite capturadas por sensoriamento remoto (KRASOWSKI; WADZUK e JACKO, 2021). Assim, é possível caracterizar e avaliar como o uso e ocupação do solo, particularmente a expansão urbana às custas da perda de áreas naturais e canalização dos rios que cortam as cidades, influenciam no microclima urbano e no bem estar da população.

A proposta deste estudo foi adaptar os modelos de evapotranspiração do tipo BES usado em áreas rurais para os estudos em área urbana, complementando essas informações com a caracterização e avaliação do uso e ocupação do solo e os demais parâmetros como NDVI e TST obtidos através de imagens de sensoriamento remoto. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi compreender e mapear o comportamento da Et diante do processo de mudança de paisagem na Região Metropolitana de Belém (RMB) no período de 1999 a 2020.

Material e Métodos

Área de estudo

A Região Metropolitana de Belém (RMB) tem sofrido nas duas últimas décadas com intenso processo de expansão urbana e consequente perda de vegetação natural. Apesar da RMB apresentar diversas áreas verdes, inclusive áreas de proteção ambiental em seu interior que auxiliam na redução de temperatura, ainda é esperada variação da temperatura de superfície significativa entre localidades com maior concentração destas áreas verdes e regiões com maior ocupação humana.

A RMB analisada é composta por 7 municípios interligados: Ananindeua, Belém, Benevides, Castanhal, Marituba, Santa Bárbara do Pará, Santa Izabel do Pará. Dados da FNEN (2018) apontam uma população de aproximadamente 2,5 milhões de habitantes, sendo que aproximadamente 80% localizam-se nos municípios de Belém e Ananindeua. A RMB possui uma área territorial de 3.565,8 km², o que representa menos de 1% da extensão territorial do estado do Pará (1.247.954,32 km²), evidenciando a grande densidade populacional. Em termos gerais, a RMB enfrenta problemas estruturais na ocupação do seu território, favorecendo a desigualdade social e o aprofundamento da segregação socioespacial (FERNANDES et al., 2015; PEREIRA; VIEIRA, 2016). Com isso, percebe-se a importância de conciliar o equilíbrio ambiental com a qualidade de vida, visto que as áreas urbanas inseridas nos municípios que compõem a RMB foram formadas a partir da dispersão do urbano periférico de Belém a partir da acessibilidade e da disponibilidade de serviços e de moradia (MENDES, 2018).

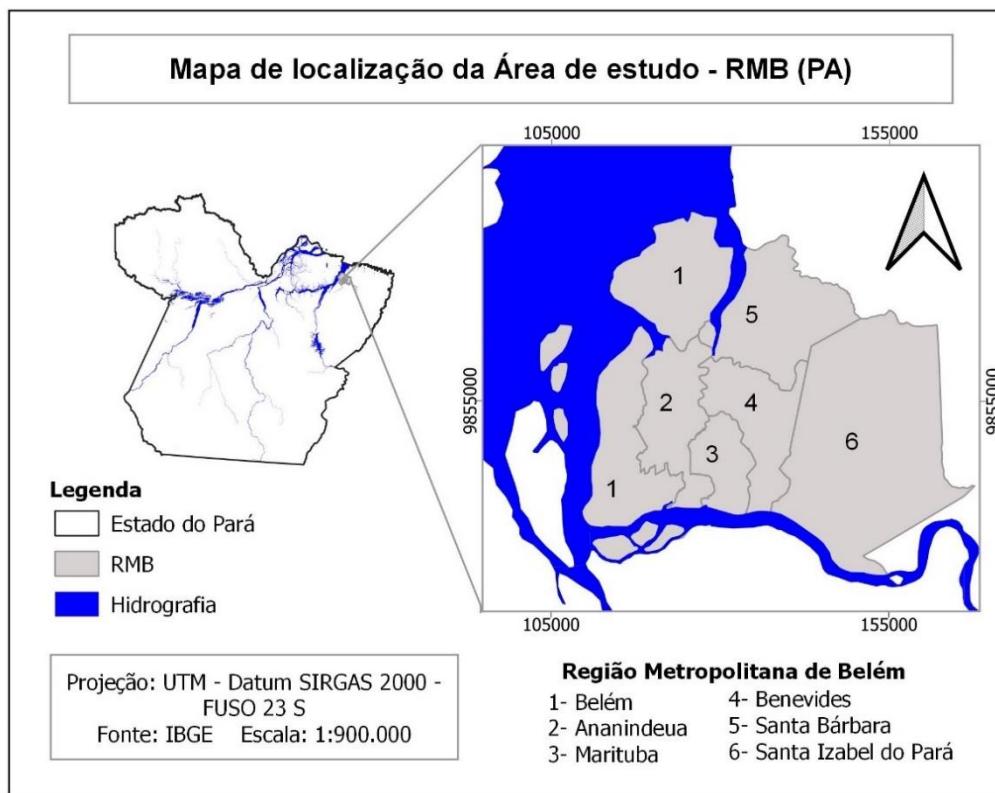
Belém, a segunda capital mais populosa da Amazônia sofre com crescimento urbano desordenado, com eliminação contínua dos últimos remanescentes de florestas primárias que cercam a cidade, denominadas de florestas urbanas (AMARAL et al., 2009). Essa dinâmica

acabou se refletindo em toda a RMB onde as mudanças de uso do solo foram significativas dado o próprio processo de crescimento urbano e populacional que levou à crescente remoção da cobertura florestal original, com consequentes impactos no microclima e serviços ecossistêmicos da região.

A classificação climática da área de estudo, utilizando o Método de Köppen, é predominantemente o sub-tipo “Af”, sendo que este sub-tipo não apresenta estação seca, sendo permanente úmido e a precipitação do mês menos chuvoso é igual ou superior a 60 mm com uma pluviosidade média anual de 2500-3000 mm e ausência de estação fria, apresentando temperatura do mês menos quente acima de 18°C e média anual de 26°C (SEMAS, 2017; SOUSA et al., 2018). O relevo é baixo com uma altitude que varia de 4 metros a 57 metros (LEÃO et al., 2007). No entanto, grandes áreas urbanas de Belém encontram-se abaixo da cota altimétrica de 4 metros, que sofre com a interferência das marésaltas levando em alguns casos às dificuldades no escoamento das águas da chuva, influenciando na evaporação e evapotranspiração das superfícies urbanas.

Como o desenvolvimento deste trabalho depende basicamente da disponibilidade de imagens de satélite sem nuvens no período estudado, optou-se por retirar o município de Castanhal da análise sob a justificativa de que não houve imagens limpas neste município. Portanto, a área de estudo (RMB) foi reduzida para os 6 municípios a seguir: Ananindeua, Belém, Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará, Santa Izabel do Pará, conforme mapa de localização (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo: Região Metropolitana de Belém



Fonte: Autores (2021).

Aquisição e Processamento de dados

Para realização dos mapas temáticos deste trabalho, incluindo as estimativas de Et na área de estudo, foram utilizadas imagens multiespectrais do satélite Landsat, pois oferecem dados de observação da Terra de média resolução calibrados por mais de quatro décadas.

Portanto, permitem análises multitemporais a longo prazo como o período proposto por este estudo, ou seja, de 1999 a 2020. Adicionalmente, as imagens Landsat estão disponíveis gratuitamente, em que suas etapas de pré-processamento já estão consolidadas e divulgadas, sendo obtidas no US Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Para estimativa da temperatura utilizou-se a metodologia da United States Geological Survey (2018), assim como outros trabalhos (QIN et al., 2001; ORTIZ, AMORIM, 2011; SILVA; RANGEL, 2017), e envolveu as seguintes etapas: conversão de ND para radiância; conversão de temperatura de brilho do topo da atmosfera; proporção de vegetação; emissividade e temperatura de superfície terrestre.

Para estimativa da Et as imagens de satélite devem ser de condições atmosféricas estáveis, ou seja, céu completamente sem nuvens. Para a área de estudo as imagens com essas condições geralmente ocorrem no período de junho a setembro, na estação com menor pluviosidade. Para a RMB, não foram encontradas imagens sem nuvens no ano de 2000 e nem para o ano de 2001. Por essa razão, optou-se por realizar a análise considerando o ano de 1999, que tinha disponibilidade de imagens sem nuvens para a área selecionada. Apesar de ser possível analisar vários anos entre o período de 1999 a 2020, para este trabalho optou-se por analisar e comparar apenas duas imagens da coleção Landsat representativas desses anos, obtidas já com as etapas de pré-processamento realizadas pela USGS especificamente as correções radiométricas e atmosféricas aplicadas, sendo os dados espaciais apresentados em unidades de refletância da superfície. Para as estimativas de temperatura, utilizou-se as bandas termais dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, respectivamente banda 6 e banda 10. Para os mapas de composição colorida foram utilizadas as combinações RGB753 no Landsat 5 e RGB 764 para o Landsat 8.

A seleção das imagens Landsat 5 TM (21/07/1999) e Landsat 8 OLI (14/07/2020) foi obtida da mesma época do ano sob a justificativa de que teoricamente as características climáticas (radiação solar, umidade do ar e pluviosidade) são semelhantes. Para visualizar as classes do uso do solo, especialmente áreas urbanizadas e de vegetação, foram confeccionados mapas com composição RGB (R – Red; G – Green e B – Blue) utilizando as bandas 753 para o Landsat 5 TM (1999) e 764 para o Landsat 8 OLI (2020). Como são sensores diferentes, utilizaram-se bandas diferentes, mas que representam informações similares nas duas composições, embora possa haver diferença entre as tonalidades de cores entre os mapas.

Apesar de existir vários modelos que utilizam dados de sensoriamento remoto para estimar a evapotranspiração em áreas rurais, apenas recentemente alguns modelos têm sido adaptados e testados para áreas urbanas (WANG et al., 2016; QIU et al., 2017; ZHANG et al., 2018; WANG et al., 2020) com aceitáveis níveis de precisão e, em alguns casos, se beneficiando de um número menor de parâmetros e de cálculos mais simples pois já não há necessidade de estimativas diárias como ocorrem nos estudos agrícolas. Considerando que ambientes urbanos são heterogêneos por natureza, este trabalho adotou os princípios do método SEBAL, seguindo o trabalho de Faridatul et al. (2020) que incluiu parâmetros de superfície urbana considerando o fluxo de calor antropogênico.

Como primeira etapa desta abordagem foi realizado o mapeamento do índice de vegetação NDVI para avaliar a distribuição de vegetação na área de estudo. Como os valores de NDVI variam de -1 a +1, valores mais próximos de +1 indica grandes probabilidades de encontrar folhas verdes, densas e saudáveis (MORALES et al., 2021). Se o valor for próximo a 0 significa ausência de folhas verdes e ao obter valores negativos entende-se a possibilidade daquela superfície ser coberta por água.

Em seguida foram estimadas as temperaturas utilizando as bandas termais das imagens selecionadas (QIN; KARNIELI e BERLINER, 2001; SILVA; RANGEL, 2017). Todos os resultados foram gerados a nível de informação de pixel, assim possibilitando a visualização através de mapas que representaram a Et urbana na RMB no período de 1999 a 2020. Para o cálculo dos parâmetros necessários para o modelo de Et urbana e a geração dos mapas temáticos, foi utilizado o Software livre QGIS na versão 3.16, onde usou-se a ferramenta *AI.evapo.mh* para estimar a evapotranspiração (HARGREAVES et al., 1985; HARGREAVES;

SEMANI, 1985; DROOGERS; ALLEN, 2002; GENTILUCCI et al., 2021). Existem diversos métodos utilizados especificamente para o cálculo de evapotranspiração, mas a fórmula de Hargreaves (Hargreaves; Samani, 1985) é comumente utilizada (GHIAT, MACKEY e AL-ANSARI, 2021) no mundo inteiro devido sua adequada taxa de confiabilidade e a necessidade de poucas variáveis para a sua execução. Neste sentido, o cálculo da Et potencial foi então obtido somente com os respectivos valores de temperatura e radiação solar.

A fórmula é dada por:

$$ET_0 = 0,0135 (T_{\text{méd}} + 17,78) R_s \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

ET_0 é a evapotranspiração potencial dada em mm/dia;

$T_{\text{méd}}$ é a temperatura média;

R_s é a radiação solar incidente;

O cálculo de Radiação incidente foi obtido através da equação $R_s = Ro \times KT \times (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{0,5}$ (Equação 2), onde R_o é o valor que corresponde a radiação solar extraterrestre e é tabelado com base na latitude e longitude do local a ser aplicado, KT é uma constante na qual o valor 0,162 é empregado a regiões interioranas e 0,19 a regiões consideradas costeiras. Assim, ao substituir o valor obtido na Equação 2 na Equação 1, obtém-se formula final de Hargreaves:

$$ET = 0,0135 (T_{\text{máx}} + 17,78) \times Ro \times KT \times (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{0,5} \quad (\text{Eq. 2})$$

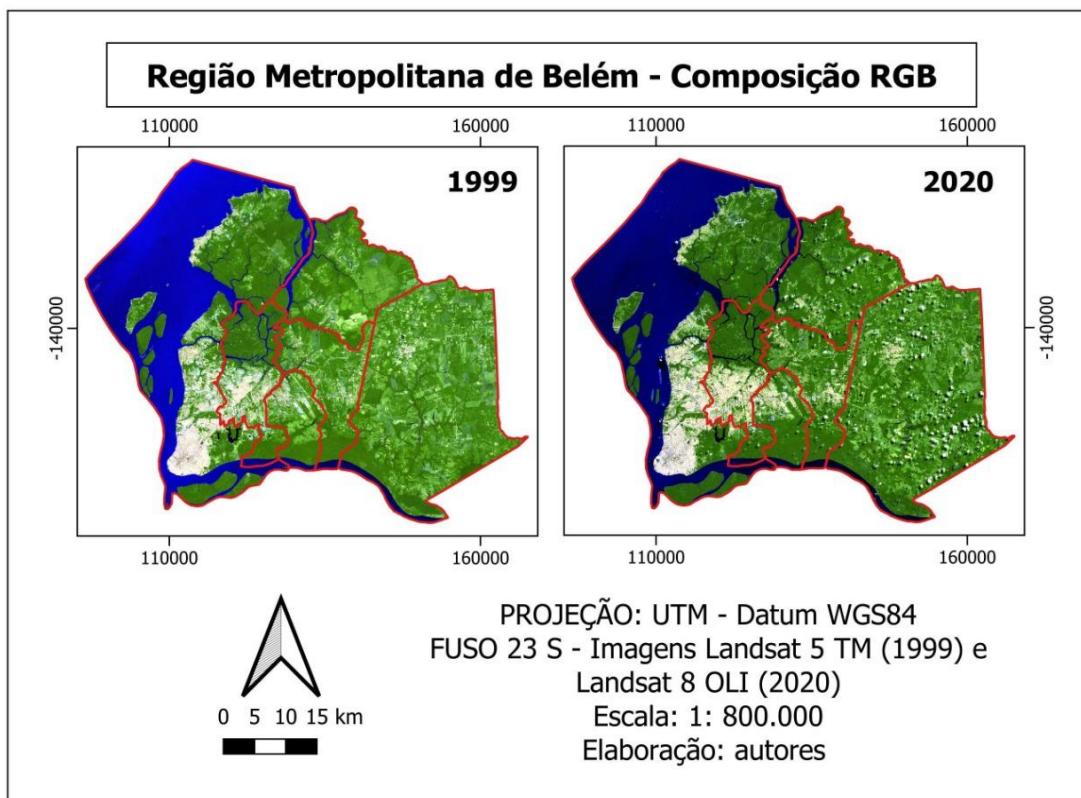
Entretanto, vale salientar que com o método de Hargreaves e Samani (1985) trata-se de uma estimativa quando se detém de um número limitado de variáveis, existindo métodos que para a obtenção de resultados mais precisos, mas que se tornam inviáveis devido à grande demanda de variáveis meteorológicas. Segundo Rodrigues et al. (2013) métodos estimativos que necessitam somente da temperatura acabam por não agregar a contribuição das condições dos ventos, umidade e demais variáveis climáticas.

Resultados e Discussões

Através das análises dos resultados obtidos pela comparação entre as duas imagens (Figura 2) dos dois períodos, percebe-se uma significativa perda de áreas verdes nas últimas duas décadas, sendo possivelmente a explicação esteja associada a crescente expansão urbana que toda a RMB.

A urbanização, ocorre em muitos casos sem planejamento, e tais processos neste cenário contribuiu na transformação de ambientes naturais em espaços urbanos, mudando a composição natural da paisagem, clima e conforto térmico. Há um alto contraste entre solos cobertos por vegetação localizados entre solos cobertos com pavimentação, apesar da grande Belém ser repleta de áreas verdes em seu entorno. Nas áreas circundantes do centro da cidade, evidencia-se os locais onde pode-se encontrar menores quantidades de evapotranspiração, pois estes são locais comerciais/industriais de maior pavimentação e com pouca cobertura vegetal (SANTOS et al., 2017).

Figura 2 – Composição RGB: Região Metropolitana de Belém



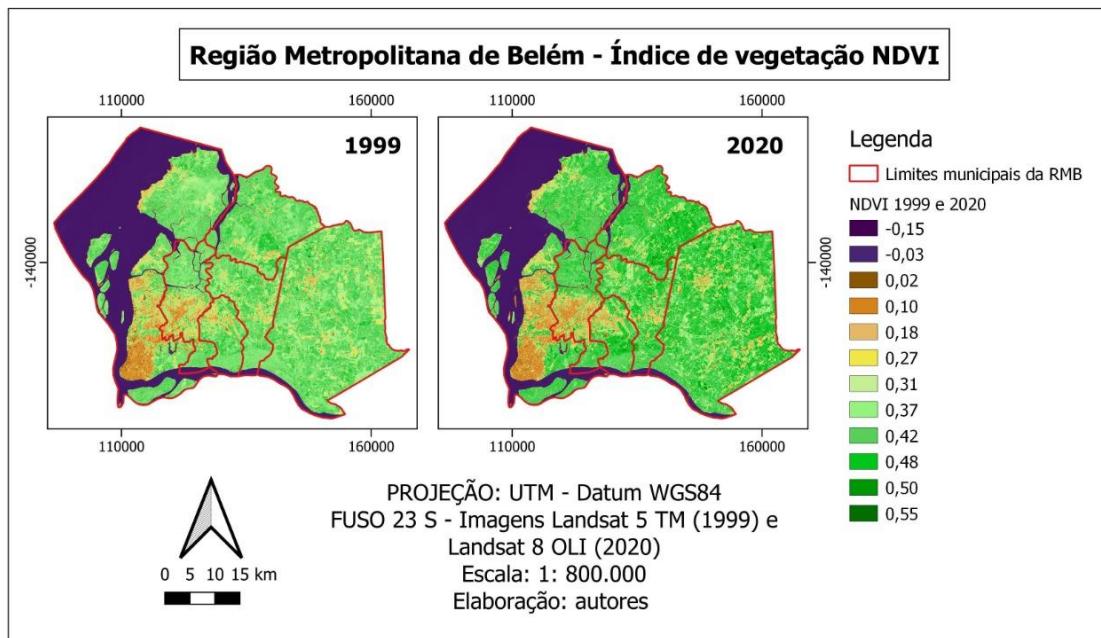
Fonte: Autores (2021).

Observou-se a perda da vegetação e seu impacto no aumento da temperatura local, e consequente formação de ICU, evidencia-se a importância da vegetação urbana para melhorar o conforto térmico, o qual tem relação direta com a evapotranspiração. Para analisar essa questão foi mapeado o índice de vegetação NDVI para os anos de 1999 e 2020, apresentado na Figura 3 a seguir.

O mapeamento do NDVI considera a dinâmica de refletividade no infravermelho próximo (NIR) e a refletividade da banda do vermelho. Observa-se a variabilidade do índice (-0,15 a 0,55) com valores que representam o vigor da vegetação. Há um aumento do NDVI no setor leste da RMB, com destaque para alguns pontos de expansão e intensificação dos menores valores de NDVI nas proximidades do núcleo urbano da RMB, indicando a diminuição da cobertura vegetal.

Aryal, Sitaula, Aryal (2022) usaram o NDVI para analisar uma zona urbana na Austrália e obteve resultados satisfatórios na detecção das áreas verdes. Os autores ainda sugeriram o uso de conjunto de dados meteorológicos como forma de uma análise de caráter multicritério para melhor qualidade da pesquisa. O que foi corroborado por Gutierrez-Cori et al. (2019) quando mostrou a relação entre os fatores hidroclimáticos com o grau de NDVI na Amazônia. Outra pesquisa releva que o NDVI através da diminuição do grau de saúde foliar auxilia na detecção de focos de incêndios na Amazônia (ZHANG et al., 2021). Gonçalves et al. (2018) discutem a importância do NDVI para identificação e análise da biodiversidade ainda presente em ambientes urbanos.

Figura 3 – Índice de vegetação (NDVI): Região Metropolitana de Belém



Fonte: Autores (2021).

A expansão urbana ao longo dos anos foi responsável por uma grande redução das áreas florestais em torno na RMB, ocasionando modificações causadas em um curto período de tempo no ambiente, com potencial para afetar o balanço de energia, gerar as ilhas de calor e afetar a qualidade do ar que é influenciada pela emissão de efluentes atmosféricos.

A Figura 4 evidencia uma diferença preocupante nos valores entre as regiões onde houve intensa conversão de áreas vegetadas em espaços antropizados, sobretudo no ano de 2020. Neste ano, observou-se que nas áreas com pouca cobertura vegetal (centros urbanos) são mais propensas à formação de ilhas de calor com a temperatura chegando em média a 36 °C, enquanto que em regiões mais isoladas e mais densamente vegetadas a temperatura oscila entre 28,7 °C e 24,5 °C.

Estes resultados se aproximam aos observados por Justino, Martines e Kawakubo (2017), onde os mesmos afirmaram que as áreas com maior adensamento urbano apresentam maiores temperaturas superficiais, enquanto que o espaço rural geralmente é marcado pela maior presença de vegetação, o que proporciona temperaturas mais baixas, o que mostra o quanto a caracterização do uso e ocupação de solo e a variação de temperatura da terra é relevante nesse processo.

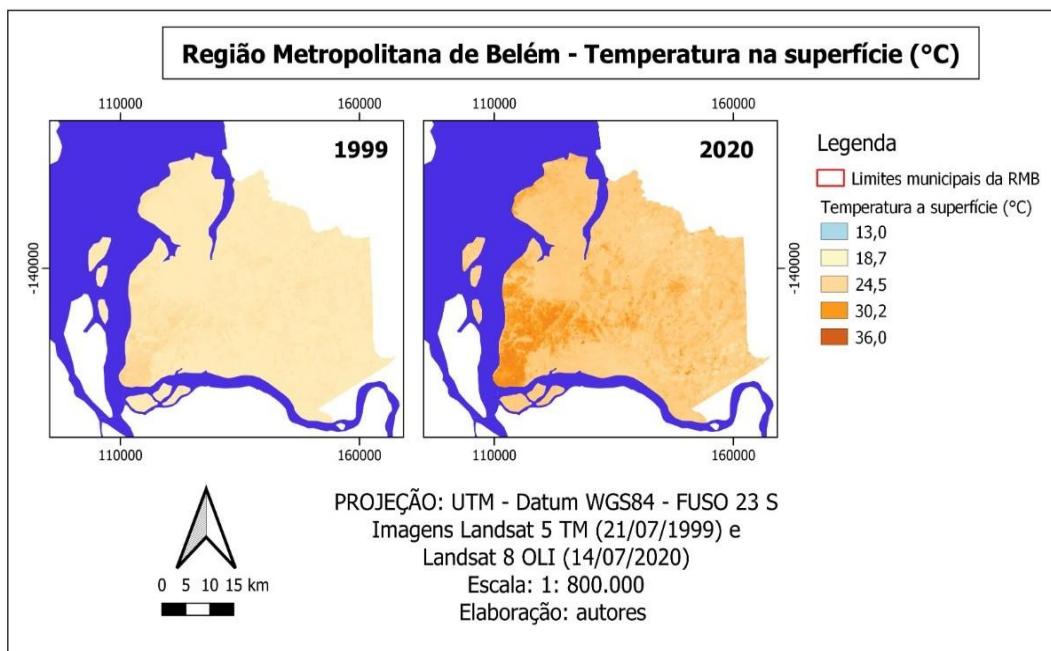
É importante ressaltar que, de acordo com Jensen (2019), os dados de temperatura superficial obtidos por sensoriamento remoto usam o calor interno de um alvo para converter em energia radiante e, na maioria dos alvos, existe uma alta correlação positiva entre a temperatura cinética verdadeira do alvo e o fluxo radiante proveniente dos mesmos. Nesse sentido, a temperatura de superfície diz respeito ao fluxo de calor dado em função da energia que atinge o alvo e posteriormente emite, sendo de suma importância para o entendimento das interações entre a superfície terrestre e a atmosfera.

Para Grimmond et al. (2007), o clima urbano altera as trocas de energia entre a interface superfície-atmosfera, o que favorece um maior percentual de energia disponível a ser empregada no aquecimento da superfície, proporcionando desta forma o aumento da temperatura do ar, colaborando com a redução das taxas evaporativas e aumento de zonas quentes. No caso da RMB, o planejamento urbano deficiente acaba por induzir o surgimento de um fenômeno denominado ilha de calor, presente em locais com excessiva quantidade de

construções e baixa concentração de áreas verdes, onde a temperatura é mais elevada que áreas vizinhas não urbanizadas (Souza, 2004).

É importante ressaltar que no ano de 1999 ocorrencia do fenômeno La Niña pode ter sido responsável por favorecer temperaturas mais baixas na RMB. O fenômeno é um episódio de pressões atmosféricas elevadas combinada com o resfriamento anômalo das águas superficiais no Oceano Pacífico tropical (GOMES et al., 2021) que altera a movimentação dos ventos, e como consequência há tendência de aumento das chuvas principalmente ao norte e leste amazônico (DIAS et al., 2020), cenário que contribui para a diminuição da temperatura neste período.

Figura 4 – Temperatura na superfície (°C)



Fonte: Autores (2021).

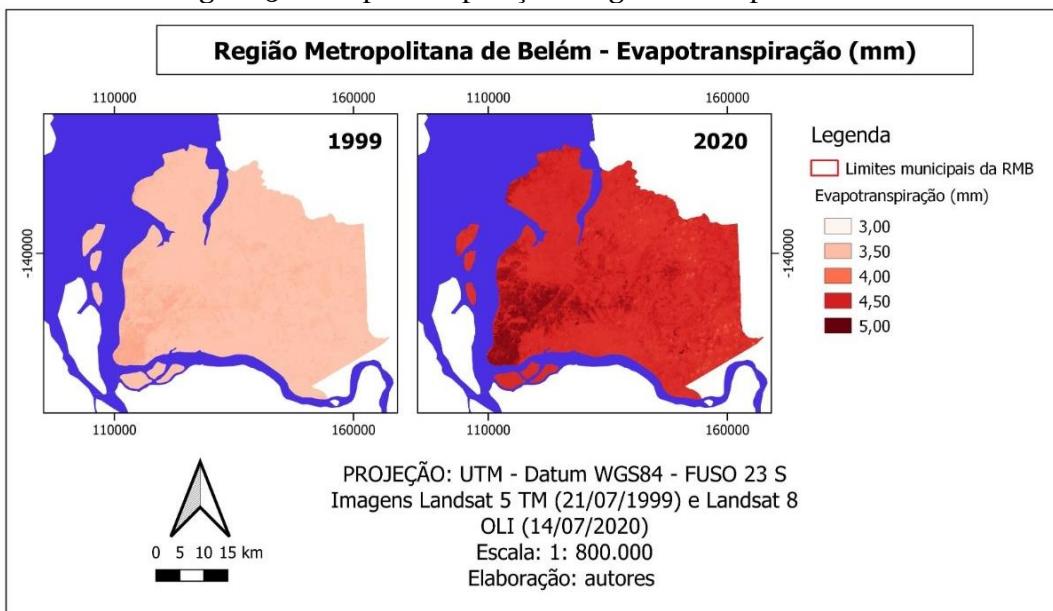
O processo de expansão antrópica desordenada e como consequência a impermeabilização de grandes áreas acarretaram no surgimento e/ou intensificação de diversos fenômenos como a ICU. Como o clima urbano difere consideravelmente do ambiente natural, fatores como a amplitude térmica, regime pluviométrico, umidade do ar são diretamente afetados pelo dimensionamento e disposição da arborização urbana (OLIVEIRA et al., 2013; GUTIÉRREZ; SOUZA e GUTIÉRREZ, 2023). Os índices de Et (Figura 5) mostram variação entre os valores estimados médios nos anos de 1999 (3,5 mm e 4 mm) e 2020 (4,5 mm e 5 mm).

A RMB tornou-se objeto de constantes modificações do espaço, com significativas alterações sofridas na zona urbana durante o período em análise. Os resultados obtidos nos mapas corroboram com os estudos de Santos et. al (2009), onde é afirmado que nos centros das cidades são os locais onde pode-se encontrar menores e muitas vezes desprezíveis quantidades de evapotranspiração, pois são locais de maior pavimentação e com pouca cobertura vegetal. O aumento da Et urbana a curto prazo pode diminuir o conforto térmico (MOREIRA et al., 2019). Isto fomenta discussões sobre a importância desses parâmetros ambientais no desenvolvimento sustentável do meio urbano e melhoria da qualidade ambiental (MONTIEL et al., 2020).

A variabilidade espaço-temporal da Et na Amazônia (HEERSPINK et al., 2020) depende da sazonalidade e algumas vezes a oscilação interanual é afetada por fenômenos climáticos (SUN et al., 2019). Como a região amazônica é caracterizada pela sua abundância

no volume de água como na RMB, mudanças na cobertura do solo induzidas pela urbanização podem alterar a Et local (TEULING et al., 2019). Zhan et al. (2019) detectou tendências de redução na superfície aquática na RMB influenciada pelo processo de urbanização.

Figura 5 – Evapotranspiração: Região Metropolitana de Belém



Fonte: Autores (2021).

Conclusão

O surgimento de novos produtos como as técnicas de sensoriamento remoto possibilitou quantificar os índices de evapotranspiração na RMB e visualizar a variabilidade espaço-temporal, contribuindo para a compreensão do microclima local. A identificação espacial das áreas anteriormente vegetadas que foram convertidas em espaços urbanos influenciou no aumento da temperatura média, além da diminuição do conforto térmico. Este cenário pode indicar a necessidade de políticas de intervenção visando a implantação ou a recuperação de áreas verdes urbanas. Tais áreas demandam também para a manutenção de baixas taxas de evapotranspiração, para evitar a formação de ICU na RMB.

O uso das técnicas de sensoriamento remoto associadas ao geoprocessamento possibilita aos estudos ambientais direcionados as zonas urbanas serem desenvolvidos pelos tomadores de decisão na gestão pública e políticas de planejamento urbano, assim como pesquisas científicas. Para aprofundar os resultados aqui obtidos, recomenda-se novos estudos utilizando técnicas de estatística espacial para correlacionar as áreas que apresentam áreas verdes, temperaturas reduzidas e baixas taxas de evapotranspiração, e assim derivar outros resultados mais significativos.

Referências

- AMARAL, D. D.; VIEIRA, I. C. G.; ALMEIDA, S. S.; SALOMÃO, R. P.; SILVA, A. S. L.; JARDIM, M. A. G. Checklist da flora arbórea de remanescentes florestais da região metropolitana de Belém e valor histórico dos fragmentos, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Naturais**, v. 4, n. 3, 2009.

ANAPALLI, S. S.; GREEN, T. R.; REDDY, K. N.; GOWDA, P. H.; SUI, R.; FISHER, D. K.; MOORHEAD, J.; MAREK, G. Application of an energy balance method for estimating evapotranspiration in cropping systems. **Agricultural Water Management**, v. 204, p. 107-117, 2018.

ANDRADE, B. C. C.; PINTO, E. J. A.; RUHOFF, A.; SENAY, G. B. Remote sensing-based actual evapotranspiration assessment in a data-scarce area of Brazil: a case study of the Urucuia Aquifer System. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 98, p. 1-16, 2021.

ARYALEKSHMI, B. N.; BIRADAR, R. C.; CHANDRASEKAR, K.; AHAMED, J. M. Analysis of various surface energy balance models for evapotranspiration estimation using satellite data. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 24, n. 3, p. 1119-1126, 2021.

ARYAL, J.; SITAULA, C.; ARYAL, S. NDVI threshold-based urban green space mapping from sentinel-2^a at the Local Governmental Area (LGA) level of Victoria, Australia. **Land**, v. 11, n. 3, p. 1-21, 2022.

BUILES-JARAMILLO, A.; POVEDA, G. Conjoint analysis of surface and atmospheric water balances in the Andes-Amazon system. **Water Resources Research**, v. 54, n. 5, p. 3472-3489, 2018.

BURNETT, M. W.; QUETIN, G. R.; KONINGS, A. G. Data-driven estimates of evapotranspiration and its drivers in the Congo basin. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, p. 4189-4211, 2020.

CAVALCANTE, R. B. L.; PONTES, P. R. M.; TADESCHI, R. G.; COSTA, C. P. W.; FERREIRA, D. B. S.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; SOUZA, E. B. Terrestrial water storage and Pacific SST affect the monthly water balance of Itacaiúnas river basin (Eastern Amazonia). **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 6, p. 3021-3035, 2019.

DEGANO, M. F.; RIVAS, R. E.; CARMONA, F.; NICLÒS, R.; SÁNCHEZ, J. M. Evaluation of the MOD16A2 evapotranspiration product in an agricultural area of Argentina, the Pampas region. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 24, n. 2, p. 319-328, 2021.

DEILAMI, K.; KAMRUZZAMAN, M.; LIU, Y. Urban heat island effect: a systematic review of spatio-temporal factors, data, methods and, mitigation measures. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 67, p. 30-42, 2018.

DIAS, G. F. M.; GOMES, D. J. C.; SERRÃO, E. A. O.; LIMA, A. M. M.; MIRANDA, S. B. A.; SILVA JUNIOR, J. A.; SOUSA, A. M. L. Associação entre os eventos de ENOS e a distribuição espaço-temporal da precipitação da precipitação na bacia hidrográfica do rio Capim (MA-PA). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 521-540, 2020.

DROOGERS, P.; ALLEN, R. G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 16, n. 1, p. 33-45, 2002.

DU, H.; CAI, W.; XU, Y.; WANG, Z.; WANG, Y.; CAI, Y. Quantifying the cool island effects of urban green spaces using remote sensing Data. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 27, p. 24-31, 2017.

ELNASHAR, A.; WANG, L.; WU, B.; ZHU, W.; ZENG, H. Synthesis of global actual evapotranspiration from 1982 to 2019. **Earth System Sciences Data**, v. 13, p. 447-480, 2021.

ESTOQUE, R. C.; MURAYAMA, Y.; MYINT, S. W. Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of SoutheastAsia. **Science of the Total Environment**, v. 577, p. 349-359, 2017.

FARIDATUL, M. I.; BO, W.; XIAOLIN, Z.; SHUO, W. Improving remote sensing based evapotranspiration modelling in a heterogeneous urban environment. **Journal of Hydrology**, v. 581, n. 124405, p. 1-43, 2020.

FERNANDES, D. A.; SOUSA, C. N.; RODRIGUES, D. L. A metrópole Belém na transição econômica: estrutura produtiva e mercado de trabalho. In: CARDOSO, A. C. D.; LIMA, J. J. F. (Orgs.). Belém: transformações na ordem urbana. Rio de Janeiro: Letra Capital: **Observatório das Metrópoles**, p. 89-120, 2015.

FNEM. **Fórum Nacional de Entidades Metropolitanas**, 2018. Região Metropolitana de Belém. Disponível em: <http://fnembrasil.org/regiao-metropolitana-de-belem-pa/>.

GARCIA, J. M.; SILVA, J. C.; LONGO, R. M. Relation between land use and occupation and potential environmental services in an urban watershed. **Journal of Environmental Management & Sustainability**, v. 10, n. 1, p. 1-25, 2021.

GENTILUCCI, M.; BUFALINI, M.; MATERAZZI, M.; BARBIERI, M.; ARINGOLI, D.; FARABOLLINI, P.; PAMBIANCHI, G. Calculation of potential evapotranspiration and calibration of the Hargreaves equation using geostatistical methods over the last 10 years in central Italy. **Geosciences**, v. 11, p. 1-19, 2021.

GHIAT, I.; MACKEY, H. R.; AL-ANSARI, T. A review of evapotranspiration measurement models, techniques and methods for open and closed agricultural field applications. **Water**, v. 13, n. 18, p. 1-19, 2021.

GOMES, D. J. C.; SILVA, L. P.; FERREIRA, N. P.; LOBATO, R. R. C.; SERRÃO, E. A. O.; LIMA, A. M. M. Impactos climáticos na erosão hídrica do solo, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 242-265, 2021.

GONÇALVES, A. B.; GODOI, R. F.; PARANHOS FILHO, A. C.; FOLHES, M. T.; PISTORI, H. Urban phytobiognomy characterization using NDVI from satellites images and free software. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 41, n. 3, p. 24-36, 2018.

GRIMMOND, C. S. B. Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. **Geographical Journal**, v. 173, p. 83-88, 2007.

GU, C.; TANG, Q.; ZHU, G.; MA, J.; GU, C.; ZHANG, K.; SUN, S.; YU, Q.; NIU, S. Discrepant responses between evapotranspiration and transpiration-based ecosystem water use efficiency to interannual precipitation fluctuations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 303, p. 1-10, 2021.

GUTIÉRREZ, C. B. B.; SOUZA, E. B.; GUTIÉRREZ, D. M. G. Global/Regional impacts on present and near-future climate regimes in the Metropolitan Region of Belém, Eastern Amazon. **Atmosphere**, v. 13, n. 7, 2022.

GUTIERREZ-CORI, O.; ESPINOZA, J. C.; LI, L.; Z. X.; WONGCHUIG, S.; ARIAS, P. A.; RONCHAIL, J.; SEGURA, H. On the hydroclimate-vegetation relationship in the Southwestern Amazon during the 2000-2019 period. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 1-20, 2021.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

HARRIS, P. P.; FOLWELL, S. S.; GALLEGOS-ELVIRA, B.; RODRÍGUEZ, J.; MILTON, S.; TAYLOR, C. M. An evaluation of modeled evaporation regimes in Europe using observed dry spell land surface temperature. **Journal of Hydrometeorology**, v. 18, n. 5, p. 1453-1470, 2017.

HEERSPINK, B. P.; KENDALL, A. D.; COE, M. T.; HYNDMAN, D. W. Trends in streamflow, evapotranspiration and groundwater storage across the Amazon basin linked to changing precipitation and land cover. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 32, p. 1-16, 2020.

HOFFMAN, J. S.; SHANDAS, V.; PENDLETON, N. The effects of historical housing policies on resident exposure to intra-urban heat: a study of 108 US urban areas. **Climate**, v. 8, n. 1, p. 1-15, 2020.

JAMEI, Y.; SEYEDMAHMOUDIAN, M.; JAMEI, E.; HORAN, B.; MEKHILEF, S.; STOJCEVSKI, A. Investigating the relationship between Land Use/Land Cover change and Land Surface Temperature using Google Earth Engine; case study: Melbourne, Australia. **Sustainability**, v. 14, n. 22, p. 1-34, 2022.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2º Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese, 2009. 672.

JUSTINO, R. C.; MARTINES, M. R.; KAWAKUBO, F. S. Classificação do uso da terra e cobertura vegetal utilizando técnicas de mineração de dados. **Revista de Departamento de Geografia**, v. 33, p. 36-46, 2017.

KAISER, E. A.; ROLIM, S. B. A.; GRONDONA, A. E. B.; HACKMANN, C. L.; LINN, R. M.; KAFER, P. S.; ROCHA, N. S.; DIAZ, L. R. Spatiotemporal influences of LULC changes on Land Surface Temperature in rapid urbanization area by using Landsat-TM and TIRS imagens. **Atmosphere**, v. 13, n. 3, p. 1-18, 2022.

KRASOWSKI, D. T.; WADZUK, B.; JACKO, B. Feasibility of using an energy balance to measure evapotranspiration in green stormwater infrastructure. **PLoS ONE**, v. 16, n. 2, p. 1-14, 2021.

MAIA, J. L. M.; MORAES NETTO, V.; COSTA, B. L. G. Forma urbana e poluição atmosférica: impactos na cidade do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, p. 1-20, 2019.

MARANDO, F.; HERIS, M. P.; ZULIAN, G.; UDÍAS, A.; MENTASCHI, L.; CHRYSOULAKIS, N.; PARASTATIDIS, D.; MAES, J. Urban heat island. Mitigation by green infrastructure in European functional urban areas. **Sustainable Cities and Society**, v. 77, p. 1-15, 2022.

MARANHOLI, H. N. G.; GONZALEZ, A. Z. D. Análise da evolução da ilha de calor na cidade de Cuiabá e alteração durante o evento El Niño. **Equador**, v. 7, n. 1, p. 1-19, 2018.

MCDONALD, R. I.; BISWAS, T.; SACHAR, C.; HOUSMAN, I.; BOUCHER, T. M.; BALK, D.; NOWAK, D., 2021. The tree cover and temperature disparity in US urbanized areas: quantifying the association with income across 5.723 communities. **PLoS ONE**, v. 16, n. 4, p. 1-27, 2021.

MENDES, L. A. S. A Geografia-Histórica da Região Metropolitana de Belém. **Revista Espacialidades [online]**, v. 14, n. 1, p. 10-39, 2018.

MIRALLES, D. G.; BRUTSAERT, W.; DOLMAN, A. J.; GASH, J. H. On the of the term “Evapotranspiration”. **Water Resources Research**, v. 56, n. 11, p. 1-5, 2020.

MOHAJERANI, A.; BAKARIC, J; JEFFREY-BAILEY, T., 2017. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p. 522-538, 2017.

MONTIEL, I.; MAYORAL, A. M.; PEDREÑO, J. N.; MAIQUES, S.; SANTOS, G. M. Linking sustainable development goals with thermal comfort and lighting conditions in educational environments. **Education Sciences**, v. 10, n. 3, p. 1-22, 2020.

MORALES, B. F.; COSTA, A. L.; NOGUEIRA, R. B.; ARRAES, C. L. Estimativa das taxas de desmatamento do município de Itacoatiara, Amazonas, utilizando séries temporais Landsat-5/TM. **Environmental Scientiae**, v. 3, n. 1, p. 13-22, 2021.

MOREIRA, E. B. M.; NÓBREGA, R. S.; SILVA, B. B.; RIBEIRO, E. P. Estimativas da evapotranspiração em área urbana através de imagens digitais TM-LandSat 5. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 559-585, 2019.

O'CONNOR, J.; SANTOS, M. J.; REBEL, K. T.; DEKKER, S. C. The influence of water table depth on evapotranspiration in the Amazon arc of deforestation. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, p. 3917-3931, 2019.

OLIVEIRA, A. S.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; SANCHES, L.; NOGUEIRA, J. S. Variáveis meteorológicas e cobertura vegetal de espécies arbóreas em praças urbanas em Cuiabá, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 389-400, 2013.

OLIVEIRA, E. L.; SALLES, M. T. Relações entre subsolo urbano e mudanças climáticas em diferentes bairros do Rio de Janeiro. **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 23, p. 1-21, 2020.

OLIVEIRA, G.; CHEN, J. M.; MATAVELI, G. A. V.; CHAVES, M. E. D.; RAO, J.; STERNBERG, M.; SANTOS, T. V.; SANTOS, C. A. C. Evapotranspiration and precipitation over pasture and soybean areas in the Xingu river basin, an expanding Amazonian agricultural frontier. **Agronomy**, v. 10, p. 1-14, 2020.

ORTIZ, G. F.; AMORIM, M. C. C. Temperatura da superfície da cidade de Cândido Mota/SP a partir da imagem de satélite LandSat 7. **Revista Geográfica de América Central**, esp., 1-16, 2011.

PEREIRA, F. S.; VIEIRA, I. C. G. Expansão urbana da Região Metropolitana de Belém sob a ótica de um sistema de índices de sustentabilidade. *Revista Ambiente & Água*, v. 11, n. 3, p. 731-744, 2016.

QIN, Z.; KARNIELI, A.; BERLINER, P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 18, p. 3719-3746, 2001.

QIU, G. Y.; ZOU, Z.; LI, X. LI, H.; GUO, Q.; YAN, C.; TAN, S. Experimental studies on the effects of green space and evapotranspiration on urban heat island in a subtropical megacity in China. **Habitat International**, v. 68, p. 30-42, 2017.

PIMENTA, F. A. L.; WERNECK, D. R. Contribuição das áreas verdes no planejamento urbano de cidades ribeirinhas: um estudo para Januária, Minas Gerais. **Cardenos de Arquitetura e Urbanismo**, v. 30, p. 1-19, 2021.

PORANGABA, G. F. O.; AMORIM, M. C. C. Geotecnologias aplicadas à análise de ilhas de calor de superfície em cidades do interior do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2041-2050, 2019.

ROCHE, J. W.; MA, Q.; RUNGE, J.; BALES, R. C. Evapotranspiration mapping for forest management in California's Sierra Nevada. **Frontiers in Forest and Global Change**, v. 3, n. 69, p. 1-14, 2020.

SANGIORGIO, V.; FIORITO, F.; SANTAMOURIS, M. Development of a holistic urban heat island evaluation methodology. **Scientific Reports**, v. 10, n. 17913, p. 1-13, 2020.

SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. C.; RAO, T. V. R.; MENEZES, H. E. A. Tendência dos índices de precipitação no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SILVA, F. S.; RANGEL, M. E. S. Avaliação da temperatura superficial terrestre do município de São Luís/MA usando imagens dos sensores TM/LANDSAT-5 e OLI/LANDSAT-8. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2017, Santos. Anais: Centro de Convenções, 2017. Disponível:
<http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2017/10.27.13.11.54>. Acesso: 14 ago. 2021.

SINGER, M. B.; ASFAW, D. T.; ROSOLEM, R.; CUTHBERT, M. O.; MIRALLES, D. G.; MACLEOD, D.; QUICHIMBO, E. A.; MICHAELIDES, K. Hourly potential evapotranspiration at 0.1° resolution for the global land surface from 1981-present. **Scientific Data**, v. 8, n. 224, p. 1-13, 2021.

SORI, R.; MARENGO, J. A.; NIETO, R.; DRUMOND, A.; GIMENO, L. The atmospheric branch of the hydrological cycle over the Negro and Madeira river basins in the Amazon region. **Water**, v. 10, n. 6, p. 1-29, 2018.

SOUZA, E.; RAMOS, G. O.; SANTOS JÚNIOR, J. S.; BELTRÃO, N. E. S. Panorama situacional do serviço de esgotamento sanitário e sua relação com doenças de veiculação hídrica na região metropolitana de Belém-Pará. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 487-503, 2018.

SOUZA, L. C. L. Ilhas de calor. **Jornal Unesp**, v. 18, n. 186, p. 11, 2004.

SUN, L.; BAKER, J. C. A.; GLOOR, E.; SPRACKLEN, D.; BOESCH, H.; SOMKUTI, P.; MAEDA, E.; BUERMANN, W. Seasonal and inter-annual variation of evapotranspiration in Amazonian based on precipitation, river discharge and gravity anomaly data. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, n. 32, p. 1-9, 2019.

SUN, Z.; WANG, Q.; BATKHISHIG, O.; OUYANG, Z. Relationship between evapotranspiration and land surface temperature under energy and water-limited conditions in dry and cold climates. **Advances in Meteorology**, p. 1-9, 2016.

TEULING, A. J.; BADTS, E. A. G.; JANSEN, F. A.; FUCHS, R.; BUITINK, J.; DIJKE, A. J. H.; STERLING, S. M. Climate change, reforestation/afforestation, and urbanization impacts on evapotranspiration and streaflow in Europe. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 23, p. 3631-3652, 2019.

WANG, C.; YANG, J.; MYINT, S. W.; WANG, Z. H.; TONG, B. Empirical modeling and spatio- temporal patterns of urban evapotranspiration for the Phoenix metropolitan area, Arizona. **GIScience & Remote Sensing**, v. 53, p. 778–792, 2016.

WANG, Y.; ZHANG, Y.; DING, N.; QIN, K.; YANG, X., 2020. Simulating the impact of urban surface evapotranspiration on the urban heat island effect using the modified rs-pm model: a case study of Xuzhou, China. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3, p. 1-22, 2020.

WEERASINGHE, I.; BASTIAANSSEN, W.; MUL, M.; JIA, L.; GRIENSVEN, A. Can we trust remote sensing evapotranspiration products over Africa? **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 24, p. 1565-1586, 2020.

YAN, C.; GUO, Q.; LI, H.; LI, L.; QIU, G. Y. Quantifying the cooling effect of urban vegetation by mobile traverse method:A local-scale urban heat island study in a subtropical megacity. **Building and Environment**, v. 169, n. 5864, p. 1-45, 2020.

YAO, R.; WANG, L.; GUI, X.; ZHENG, Y.; ZHANG, H.; HUANG, X. Urbanization effects on vegetation and surface urban heat Islands in China's Yangtzeriver basin. **Remote Sensing**, v. 9, n. 6, p. 1-17, 2017.

ZHANG, H.; HAGAN, D. F. T.; DALAGNOL, R.; LIU, Y. Forest Canopy changes in the Southern Amazon during the 2019 fire season based on passive microwave and optical satellite observations. **Remote Sensing**, v. 13, n. 12, p. 1-20, 2021.

ZHANG, Y.; LI, L.; QIN, K.; WANG, Y.; CHEN, L.; YANG, X. Remote sensing estimation of urbansurface evapotranspiration based on a modified Penman–Monteith model. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 12, n. 4, 2018.

ZHAN, S.; SONG, C.; WANG, J.; SHENG, Y.; QUAN, J. A global assessment of terrestrial evapotranspiration increase due to surface water area change. **Earth's Future**, v. 7, n. 3, p. 266-282, 2019.

ZHUANG, W.; SHI, H.; MA, X.; CLEVERLY, J.; BERINGER, J.; ZHANG, Y.; HE, J.; EAMUS, D.; YU, Q. Improving estimation of seasonal evapotranspiration in Australian tropical savanas using a flexible drought index. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 295, p. 1-16, 2020.

**Recebido em: 29/09/2023.
Aprovado para publicação em: 09/06/2024.**