

MAPEAMENTO CLIMÁTICO URBANO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE TÉRMICA E IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR NA CIDADE DE SOBRAL, CEARÁ

URBAN CLIMATE MAPPING AS A TOOL FOR THERMAL ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF HEAT ISLANDS IN THE CITY OF SOBRAL, CEARÁ

MAPEO CLIMÁTICO URBANO COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS TÉRMICO E IDENTIFICACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN LA CIUDAD DE SOBRAL, CEARÁ

RESUMO

A cidade consolidou-se como palco de diferentes processos socioeconômicos, alterando de forma contundente os sistemas ambientais presentes em sua paisagem. Tal fato pode ser visualizado na dimensão climática, haja vista que as áreas urbanizadas produzem um tipo climático específico que está relacionado ao nível de alteração das condições naturais do sítio, independentemente do porte apresentado pela urbe. De base desses pressupostos, o presente trabalho buscou analisar o clima urbano da cidade de Sobral, visando o mapeamento térmico urbano e a identificação de fenômenos inerentes ao clima. Para tal, a metodologia da pesquisa teve como base a revisão bibliográfica do tema e a aplicação da perspectiva do UCMMap, visando cruzar dados ambientais e climáticos para mapear as áreas de maior e menor carga térmica. Como resultado, observou-se que Sobral dispõe de oito climatopos na paisagem urbana, sendo que destes, quatro contribuem efetivamente para o aumento da temperatura local, apresentando uma área coberta de 42,5%. Nota-se que as classes de maior temperatura estão localizadas nas regiões centrais e em aglomerados suburbanos de maior adensamento construtivo. Associa-se a estes ambientes a baixa cobertura vegetal. As áreas com capacidade de arrefecimento do ambiente urbano estão relacionadas as regiões de expansão da cidade e com menor quantitativo de equipamentos urbanos. Ademais, verificou-se que 2,2% das feições identificadas estão associadas ao fenômeno de ilhas de calor superficiais e atmosféricas, pois apresentam carga térmica muito alta, ou seja, imprimem ao ambiente urbano elevadas temperaturas.

Palavras-chave: Clima urbano. Cidades médias semiáridas. Mapa climático. Variações térmicas. Ilhas de calor.

ABSTRACT

The city has consolidated itself as the stage for different socioeconomic processes, strongly altering the environmental systems present in the urban landscape. This aspect is visualized in the climatic dimension, given that urbanized areas produce a specific climatic type which is related to the level of alteration of the natural conditions of the site, regardless of the size of the city. Based on these assumptions, the present work sought to analyze the urban climate of the city of Sobral, aiming at urban thermal mapping and the identification of phenomena inherent to the climate. The methodology of the research was based on the bibliographic review of the theme and the application of the UCMMap perspective, aiming to cross-reference environmental and climatic data to map the areas of higher and lower thermal load. As a result, it was observed that Sobral has eight climatopes in the urban landscape, four of which contribute to effectively for the increase in local temperature, presenting a covered area of 42.5%. It is noted that the highest temperature classes are located in the central regions and in suburban agglomerations with greater construction density. These environments are associated with low vegetation cover. The areas with cooling capacity of the urban environment are related to the regions of expansion of the city and with a smaller quantity of urban facilities. In addition, it was found that 2.2% of the identified features are associated with the phenomenon of surface and atmospheric heat islands, because they have a very high thermal load, that is, they impart high temperatures to the urban environment.

 Francisca Mairla Gomes Brasileiro^a
 Lidia Gomes de Castro^b
 Rivelino Martins Cavalcanti^c
 Maria Elisa Zanella^d

^a Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil

^b Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil

^c Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil

^d Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2023.75339

Correspondência:
mairlagomesufrc@gmail.com

Recebido em: 27 abr. 2023

Revisado em: 22 nov. 2023

Aceito em: 06 dez. 2023



Keywords: Urban climate. Medium-sized semi-arid cities. Climate map. Thermal variations. Heat islands.

RESUMEN

La ciudad se ha consolidado como escenario de diferentes procesos socioeconómicos, alterando fuertemente los sistemas ambientales presentes en su paisaje. Este hecho se puede visualizar en la dimensión climática, dado que las áreas urbanizadas producen un tipo climático específico que se relaciona con el nivel de alteración de las condiciones naturales del sitio, independientemente del tamaño de la ciudad. A partir de estos supuestos, el presente trabajo buscó analizar el clima urbano de la ciudad de Sobral, con el objetivo de realizar un mapeo térmico urbano y la identificación de fenómenos inherentes al clima. Para ello, la metodología de investigación se basó en la revisión bibliográfica del tema y la aplicación de la perspectiva UCMMap, con el objetivo de cruzar datos ambientales y climáticos para mapear las áreas de mayor y menor carga térmica. Como resultado, se observó que Sobral tiene ocho climatopos en el paisaje urbano, cuatro de los cuales contribuyen efectivamente por el aumento de la temperatura local, presentando un área cubierta de 42.5%. Se observa que las clases de temperatura más altas se localizan en las regiones centrales y en las aglomeraciones suburbanas con mayor densidad de construcción. Estos ambientes están asociados a una baja cobertura vegetal. Zonas con capacidad frigorífica del entorno urbano están relacionados con las regiones de expansión de la ciudad y con un menor número de equipamientos urbanos. Además, se encontró que el 2,2% de las características identificadas se asocian al fenómeno de las islas de calor superficiales y atmosféricas, ya que tienen una carga térmica muy elevada, es decir, imparten altas temperaturas al entorno urbano.

Palabras Clave: Clima urbano. Ciudades semiáridas de tamaño medio. Mapa climático. Variaciones térmicas. Islas de calor.



INTRODUÇÃO

O desenvolvimento estrutural das cidades, impulsionado pela urbanização e pela industrialização, impactou de forma contundente os sistemas ambientais urbanos e gerou impactos nocivos em diferentes âmbitos. Tais impactos reverberaram também na questão climática das cidades, ocasionando fenômenos próprios de ambientes urbanizados. Assim, convencionou-se afirmar que esses ambientes são geradores de um clima específico que se diferencia de áreas rurais, ou seja, o clima urbano (ZHOU; CHEN, 2018; AMORIM, 2020).

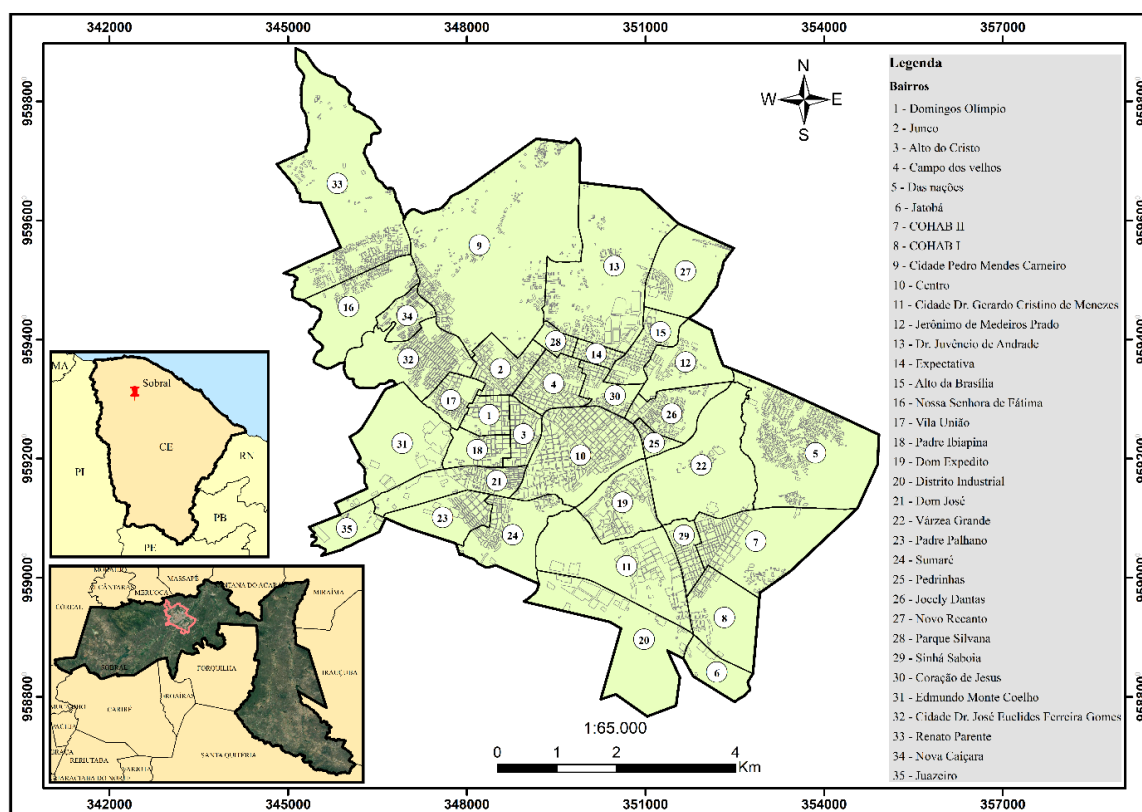
Nesse contexto, destaca-se o fenômeno das ilhas de calor (IC) e sua relação com o processo de ocupação do sítio e seus efeitos térmicos. Nota-se que as ilhas de calor atmosféricas e superficiais são muito recorrentes no contexto das cidades e associam-se diretamente as modificações realizadas na paisagem urbana. Esses fenômenos se caracterizam pelo aumento substancial da temperatura do ar e/ou de superfície em áreas específicas da cidade, sobretudo relacionadas ao grau de urbanização desse ambiente, e apresentam a capacidade de impactar diretamente na qualidade de vida das pessoas que habitam os centros urbanos (LOMBARDO, 1985; ANDRADE, 2005; GARTLAND, 2010).

Os grandes centros urbanos são os maiores detentores de estudos que mapeiam a formação das ilhas de calor atmosféricas e de superfície em sua paisagem, tendo em vista que são ambientes que concentram os centros de pesquisa e onde estas questões apresentam maior destaque. Entretanto, convém destacar a importância de estudos neste âmbito nas cidades médias e pequenas, pois estes espaços têm apresentado um crescimento significativo nas últimas décadas, com a formação de centros urbanos dinâmicos regionalmente e que seguem a mesma proposta de delineamento espacial observado nas grandes metrópoles. A realização de estudos nestes espaços geográficos encontra algumas facilidades, visto que são áreas em desenvolvimento e, portanto, podem inserir no planejamento territorial as análises climáticas obtidas nas pesquisas científicas.

Nesse sentido se formata a justificativa desse trabalho, haja vista que as cidades pequenas e médias, ao contrário das grandes metrópoles, apresentam menores quantitativos de estudos investigativos sobre a questão climática em seu ambiente urbano. Logo, esse trabalho apresenta-se como uma contribuição teórica e metodológica para estudos sobre o clima urbano em ambientes de cidades médias semiáridas e, apesar de não apresentarem a mesma configuração das grandes metrópoles, são espaços que denotam uma dinâmica de formas, fluxos e processos significativos e que geram questões ambientais importantes, inclusive questões climáticas. Ademais, a pesquisa possibilitou a geração de dados e análises que poderão ser utilizados pela administração pública municipal para o planejamento do ordenamento territorial e melhor gerenciamento das questões climáticas urbanas locais.

Nesse contexto, o trabalho buscou analisar o clima urbano da cidade de Sobral por meio do mapeamento térmico urbano, visando a identificação de fenômenos inerentes ao clima. Para tal, a área de estudo escolhida para a pesquisa consistiu na cidade de Sobral, localizada no noroeste do estado do Ceará (Figura 1). A mesma é considerada uma cidade média que apresenta uma dinâmica urbana intensa, que influencia diretamente os municípios circunvizinhos, configurando-se como um polo regional.

Figura 1 – Mapa de localização e divisão por bairros da cidade de Sobral



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

REFERENCIAL TEÓRICO

A cidade é geradora de um clima específico que se diferencia do clima de áreas rurais e regiões menos urbanizadas (AMORIM, 2020). Esse consiste em um clima urbano que resulta das características da urbanização, do sítio urbano e da interação das atividades realizadas na cidade com a atmosfera próxima a superfície (OKE, 1987; PARTIDÁRIO, 2001; ZANELLA, 2014).

Ao pensar a dimensão do clima urbano os teóricos da área destacam diferentes perspectivas sobre os elementos que devem ser considerados durante a análise. Alguns pontos comuns entre essas visões



perpassam a análise do clima considerando os balanços de energia, as características do sítio urbano, os tipos de uso que são realizados, os tipos de materiais dispostos na paisagem e as ações dos sujeitos sociais (UGEDA JÚNIOR; AMORIM, 2016).

Nesse sentido, pressupõe-se uma análise integrativa, pois a determinação das diferenças no tempo e no clima da cidade não depende somente dos fatores atmosféricos, haja vista, que o ambiente urbano engloba componentes naturais, construídos, econômicos e sociais. Grosso modo, o clima urbano consiste na modificação substancial do clima local que em relação às condições climáticas das demais áreas circunvizinhas, apresenta maior quantidade de calor, modificações na atmosfera, na ventilação e na umidade (LANDSBERG, 1956).

Para Rizwan, Dennis e Liu (2008) o aquecimento do ambiente urbano é advindo da existência da liberação de calor por fontes antropogênicas, como veículos, indústrias, etc. e pela radiação armazenada e liberada pelas grandes estruturas urbanas. Estas contêm essa capacidade devido o tipo de material de construção que compõem as estruturas na cidade e a diminuição do fator de visão do céu (*sky view factor*), a partir do desenvolvimento da verticalização dos ambientes urbanos.

A diminuição da vegetação conforme a malha urbana se expande e a alta rugosidade dos ambientes urbanos também consiste em uma problemática para a perda de calor nesses locais, visto que reduz a possibilidade de amenização do calor por meio da convecção (RIZWAN; DENNIS; LIU, 2008).

Monteiro (1976) acrescenta que a geração de um clima tipicamente urbano não depende somente das formas dispostas na paisagem, para compreendê-lo é necessário considerar os balanços de energia. Ademais, é essencial conhecer como a cidade considerou o sítio urbano e suas características durante o processo de crescimento e urbanização. Em suma, este autor compreende o clima urbano como um sistema aberto e interligado que pode ser apreendido por meio da metodologia do Sistema Clima Urbano (SCU).

Souza (2010) destaca que a dimensão do clima urbano, pode ser pensado, além do tamanho da cidade, pela disposição da “topografia, a vegetação, a forma urbana e a proporção entre espaços abertos (campos, praças, corpos d’água, entre outros) e áreas edificadas” (SOUZA, 2010, p.19).

Segundo García (2009) o asfalto, os edifícios e o traçado da malha viária modificam o equilíbrio de radiação entre o solo e o ar, reduz a evaporação, aumenta o escoamento superficial e diminui a velocidade do vento enquanto aumenta a turbulência. Esses fatores emergem para a formatação de um clima urbano característico, cujo o aspecto mais notável é o aumento das temperaturas na cidade em relação às áreas vizinhas mais frias.



Portanto, a observação do clima da cidade deve ser acompanhada da análise das características geoambientais, características físicas do meio geográfico, assim como, das características do processo de urbanização dos ambientes em estudo, pois dessa forma é possível identificar quais as alterações climáticas e suas magnitudes, além de relacioná-las às ações sociais (MONTEIRO, 1976; UGEDA JÚNIOR; AMORIM, 2016).

As ilhas de calor superficiais e atmosféricas apresentam-se como a principal manifestação do clima urbano e um dos problemas ambientais mais recorrentes no ambiente da cidade (RIZWAN; DENNIS; LIU, 2008). Do ponto de vista conceitual, podemos caracterizar as ilhas de calor urbanas como o aumento da temperatura do ar e de superfície em regiões centrais e periféricas das cidades em detrimento as baixas temperaturas encontradas em áreas rurais (LOMBARDO, 1985; SOUZA; PARANHOS FILHO; GUARALDO, 2020).

Há que saber que as ilhas de calor são fenômenos que interferem na qualidade de vida do cidadão, gerando desconforto térmico, contribuindo para problemas de saúde, gerando maiores índices de poluição e impactos no consumo de energia, visto o uso de equipamentos para reduzir o stress térmico (ANDRADE, 2005; GARTLAND, 2010).

Nesse contexto, a produção de mapas climáticos urbanos tem proporcionado uma visão integrativa entre as condições naturais da cidade, as características de sua urbanização e as condições atmosféricas, proporcionando a geração de ferramentas para melhor determinação do fenômeno de ilhas de calor no ambiente urbano. Ademais, tal metodologia permite identificar áreas intraurbanas que apresentam funções climáticas tanto de arrefecimento quanto de aquecimento da cidade, possibilitando o planejamento climático dessas áreas.

Na literatura o mapeamento climático é comumente referenciado como sendo um mapa climático urbano ou *Urban Climatic Map* (UCMap), onde se visualiza diferentes classes térmicas obtidas a partir do cruzamento de diversas variáveis. Esse mapeamento consiste em uma ferramenta de informação que contém parâmetros relevantes do ambiente urbano. Segundo Ribeiro (2013, p. 36) “ele é desenvolvido com a finalidade de reconhecer funções climáticas urbanas e contribuir na descrição da atmosfera mais próxima às edificações”.

Como nos confirma Ng e Ren (2015) o mapa climático urbano (UCMap) é uma ferramenta de informação e avaliação para integrar fatores climáticos e considerações de planejamento urbano, apresentando fenômenos climáticos e problemas em mapas espaciais bidimensionais.

O UCMap utiliza como base a metodologia elaborada por Lutz Katzshner (1997), onde se propõe a setorização dos elementos da paisagem urbana que possuem carga térmica (aquecimento e resfriamento da



atmosfera urbana) e potencial dinâmico (fatores que contribuem para o aumento ou a diminuição das condições de ventilação). Após a determinação das camadas bases segue-se para a sobreposição destas informações visando a geração de um mapa final, contendo as especificidades do ambiente urbano e da atmosfera próxima a superfície. As variáveis utilizadas no modelo podem ser definidas de acordo com a análise do sítio urbano e com o objetivo final da pesquisa.

Souza (2010) destaca que a elaboração do UCMMap apresenta uma importância crucial para os órgãos de planejamento, e por este, consistir em uma ferramenta didática de informações, todos os componentes da sociedade podem acessar os produtos resultantes dele.

Alguns estudos se destacam no desenvolvimento desta proposta metodológica de análise. Convém destacar as experiências precursoras das cidades de Stuttgart (BAUMÜLLER, 2008) e Kassel, na Alemanha (NG *et al*, 2012), em Hong Kong, na China (NG *et al*, 2012), e São Paulo, no Brasil (SEPE; TAKIYA, 2002). Destaca-se também os trabalhos nacionais mais recentes desenvolvidos na área, a saber, Souza (2010) que pesquisou e elaborou o UCMMap para a cidade de João Pessoa, na Paraíba, e Ribeiro (2013), que fez uma revisão e aprofundamento do mapa climático desenvolvido para a cidade de João pessoa, na Paraíba. Ferreira, Assis e Katzschner (2017) elaboraram a proposta de construção de um mapa analítico para Belo Horizonte e evidenciaram a baixa carga térmica da cidade, onde as classes de maior potencial dinâmico predominaram na paisagem urbana.

Na pesquisa desenvolvida por Lima Júnior (2018) buscou-se avaliar a realidade de Fortaleza e correlacionar a perspectiva do UCMMap com a distribuição dos casos de dengue. Para o município de Recife, Freitas *et al* (2021) evidenciou catorze microclimas distribuídos sob três macrozonas, sendo as áreas mais adensadas e verticalizadas as que apresentaram classes de maior carga térmica. Nos estudos de Moura *et al* (2022) revisou-se os mapas climáticos urbanos de Salvador a partir da aplicação da metodologia de padrões de uso do solo.

Nesse sentido, observa-se que a maioria dos trabalhos desenvolvidos no campo do UCMMap no Brasil tiveram como lócus de estudo grandes metrópoles, assim, como boa parte dos estudos desenvolvidos no campo do clima urbano. As metrópoles são ambientes extremamente dinâmicos e por abrigarem um complexo conjunto de atividades, as questões relacionadas ao clima são sentidas com maior intensidade. Entretanto, nas últimas décadas é crescente a preocupação com o clima das cidades médias e pequenas, haja vista, que muitos desses espaços são polos regionais, com alta concentração populacional, infraestruturas e serviços, sendo, portanto, capazes de configurar diferenciações e impactos no clima a nível local (AMORIM, 2000; CASTRO; COSTA, 2016).



Os UCMaps produzidos para as realidades do Brasil pressupõem algumas questões teórico e metodológicas, haja vista, que a proposta de Lutz Katzshner foi elaborada para regiões onde predomina um clima temperado, logo as variáveis usadas no modelo podem não corresponder as características do clima em cidades tropicais semiáridas. Deste modo, para a presente pesquisa buscou-se uma adaptação da proposta original, adequando-a para a realidade de clima tropical semiárido, tendo como principal base os trabalhos desenvolvidos por Ribeiro (2013) e Lima Júnior (2018).

Aspectos climáticos e urbanísticos da cidade de Sobral – CE

O estudo do clima no contexto da cidade de Sobral perpassa pelo entendimento das condições climáticas e ambientais locais, haja vista que a cidade se encontra totalmente inserida dentro da zona de semiaridez do nordeste brasileiro, logo apresenta predisposição ao calor o ano todo. Somado a este fator natural, a inserção de infraestruturas urbanas na paisagem da cidade desconsiderando as características térmicas dos materiais, a disponibilidade de áreas verdes, a dinâmica da ventilação local etc., culminaram na geração de fenômenos urbanos que afetam a vida dos cidadãos.

O semiárido nordestino se caracteriza por apresentar altas “taxas de insolação, elevadas temperaturas e baixas amplitudes térmicas. Os totais pluviométricos são baixos e apresentam alta variabilidade no tempo e no espaço” (ZANELLA, 2014, p.128). Somado a estes elementos destaca-se também a presença de elevadas taxas de evapotranspiração e o considerável déficit hídrico dessas áreas. As características térmicas dos ambientes semiáridos resultam da localização geográfica em baixas latitudes, dentro da zona tropical do planeta e próximo a área equatorial, situado entre 1° e 18° de Latitude Sul e entre 34° e 48° de Longitude Oeste (LUCENA; STEINKE, 2017). Logo, recebe-se radiação solar o ano todo e as temperaturas são elevadas e com pouca variabilidade, se mantendo constante durante todas as estações do ano. Em relação as questões hídricas, nota-se que a curta duração dos fenômenos geradores de chuva e a maior durabilidade de sistemas associados a estabilidade do tempo tem favorecido a aridez nesses locais.

Segundo Muniz *et al* (2017), utilizando-se da classificação de Thornthwaite, o município de Sobral está inserido no clima semiárido, com exceção de pequenas porções ao nordeste e ao sudeste que compreendem o clima árido, sendo os altos níveis de evapotranspiração determinantes para a categorização das áreas nos tipos climáticos.

Ao avaliar os dados meteorológicos disponibilizados pela normal climatológica, para o período de 01 de janeiro de 1991 a 31 de dezembro de 2020, observa-se de forma mais minuciosa as características do clima



de Sobral, por meio da análise das temperaturas do ar média, máxima e mínima, da umidade relativa do ar e dos dados de precipitação (Tabela 1).

Em relação aos dados de temperaturas do ar média, observa-se que os valores mais baixos se dão no mês de abril e as médias mais elevadas em novembro, correspondendo, respectivamente, aos meses representativos do período chuvoso e seco. A amplitude térmica observada para a cidade foi de 2,5°C, devido a sua localização geográfica em baixas latitudes.

Tabela 1 – Dados meteorológicos de Sobral (1991-2020)

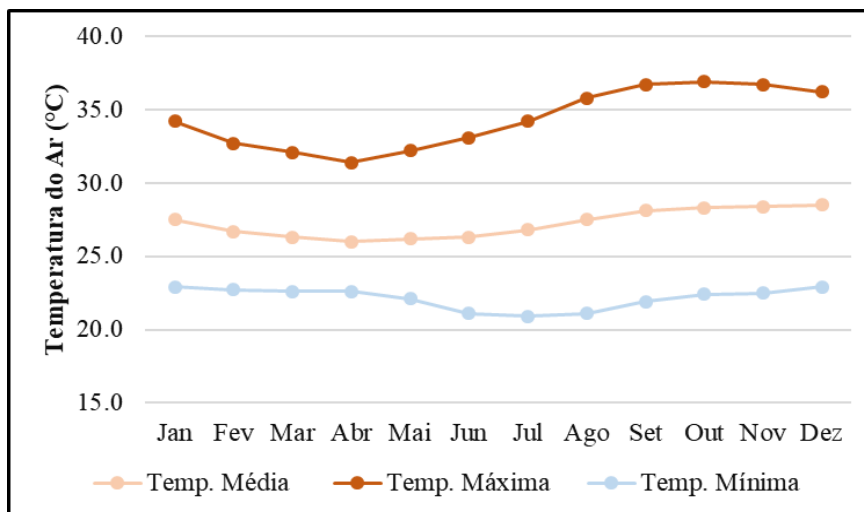
Parâmetros	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T. Méd. (°C)	27.5	26.7	26.3	26.0	26.2	26.3	26.8	27.5	28.1	28.3	28.4	28.5
T. Máx. (°C)	34.2	32.7	32.1	31.4	32.2	33.1	34.2	35.8	36.7	36.9	36.7	36.2
T. Mín. (°C)	22.9	22.7	22.6	22.6	22.1	21.1	20.9	21.1	21.9	22.4	22.5	22.9
Umid. (%)	70.5	78.9	83.0	84.8	80.2	72.0	67.7	58.5	57.8	56.3	57.3	64.5
Precip.(mm)	123.7	161.8	220.1	206.3	93.2	30.1	17.4	3.9	0.4	2.0	5.5	23.2

Fonte: Normal climatológica (1991-2020) – INMET. Organizado pela autora. Legenda: Temperatura média (T. Méd.); Temperatura máxima (T. Máx.); Temperatura mínima (T. Mín.); Umidade relativa (Umid.); Precipitação (Precip.).

Os dados de temperaturas máximas e mínimas analisados consistem nas médias dos valores mensais observados para o período de 1991 a 2020. As temperaturas máximas, grosso modo, predominam no segundo semestre do ano, tendo o mês de outubro como o mais quente, com temperaturas máximas igual a 36,9°C. Os menores valores de temperatura máxima são visualizados no primeiro semestre do ano, com destaque para o mês de abril que apresentou uma temperatura máxima de 31,4°C. Em relação as temperaturas mínimas, observa-se que estas não mantêm o mesmo padrão das temperaturas médias e máximas, estando distribuídas ao longo do ano e tendo como meses mais representativos o intervalo entre maio e agosto (Gráfico 1).

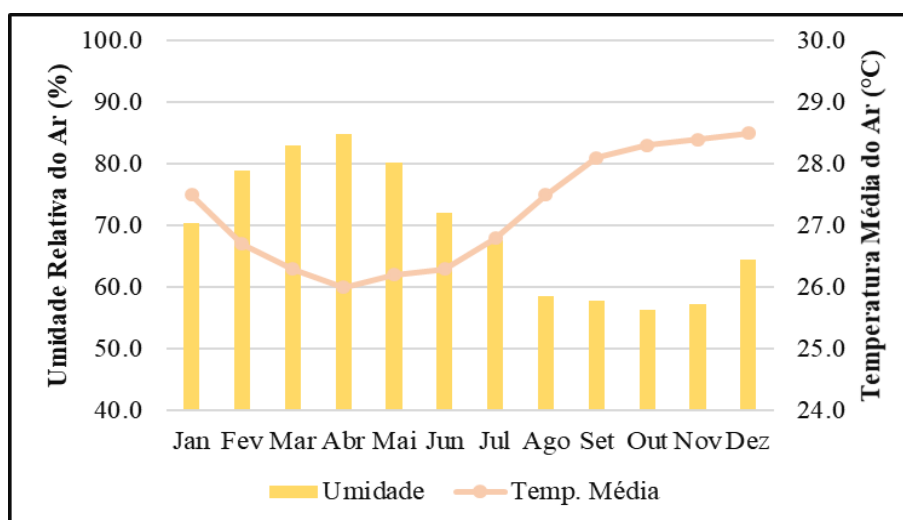
No que concerne aos dados de umidade relativa do ar, observa-se que essa se configura de forma inversamente proporcional aos dados de temperatura, onde quanto mais elevado os valores de umidade mais baixa a temperatura do ar se apresenta. Nota-se que os maiores valores de umidade se distribuem durante o período chuvoso da região, sendo os meses de março, abril e maio os mais representativos, visto que são também os meses de maiores acumulados de precipitação. O menor valor desse elemento foi visualizado no mês de outubro que apresentou uma taxa de umidade igual a 56,3% (Gráfico 2).

Gráfico 1 – Distribuição das Temperaturas do Ar (°C) em Sobral (1991-2020)



Fonte: Normal climatológica (1991-2020) – INMET. Organizado pelos autores.

Gráfico 2 – Distribuição da umidade relativa do ar (%) e da temperatura média do ar (°C) em Sobral (1991-2020)



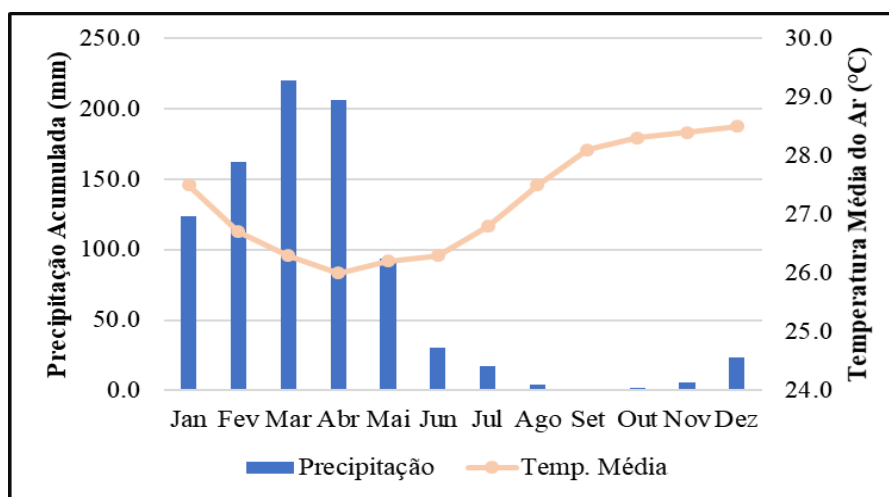
Fonte: Normal climatológica (1991-2020) – INMET. Organizado pelos autores.

Os dados de precipitação evidenciaram totais pluviométricos médios iguais a 887.6 milímetros por ano. Grande parte desse acumulado ocorreu nos meses correspondentes a quadra chuvosa do estado do Ceará, de fevereiro a maio, tendo o mês de março como o mais chuvoso com uma média acumulada de 220.1 milímetros. Ressalta-se que o regime climático das chuvas predomina nas estações do verão/outono e a ausência de chuvas no período do inverno/primavera. Devido sua proximidade com a linha do equador as

estações do ano não são sentidas com tanta intensidade como no centro-sul do Brasil, devido a isso os estudos na região tem se pautado na perspectiva dos tipos de tempo, no caso período seco e período chuvoso.

Observa-se também nessa normal o papel da pré-estação chuvosa, com destaque para o mês de janeiro que apresentou um acumulado de 123.7 milímetros. Os meses menos chuvosos estão concentrados no segundo semestre do ano, com ênfase para os meses de setembro e outubro que apresentaram acumulados iguais a 0.4 e 2 milímetros, respectivamente (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Distribuição da precipitação (mm) e da temperatura média do ar (°C) em Sobral (1991-2020)



Fonte: Normal climatológica (1991-2020) – INMET. Organizado pelos autores.

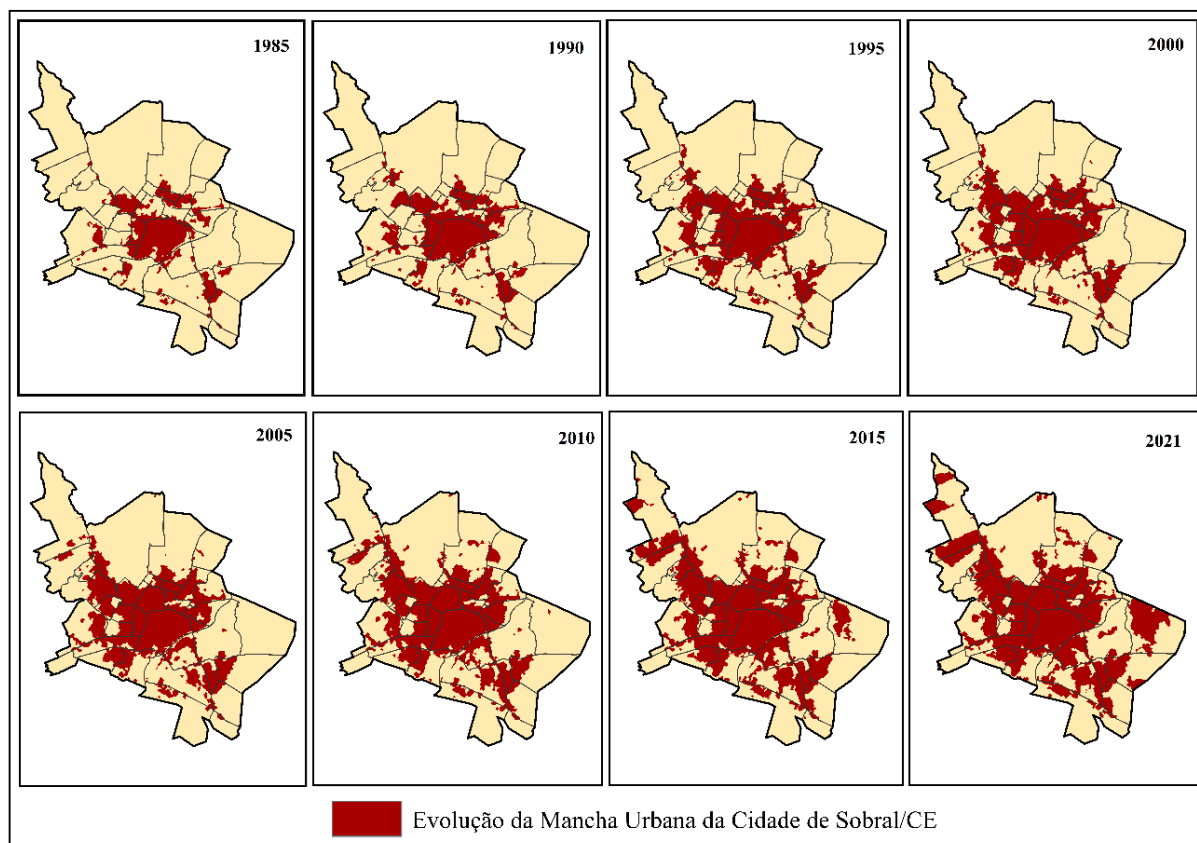
No que concerne as características urbanísticas de Sobral, nota-se que a cidade apresenta alterações significativas em sua paisagem nas últimas décadas, com o incremento de diferentes infraestruturas urbanas. Essas alterações estão atreladas, sobretudo, ao desenvolvimento industrial, que tem seu ponto de partida na década de 1990. Com a chegada de indústrias de bens de consumo, a exemplo da Grendene Calçados S/A, novas empresas foram atraídas para a cidade a fim de atender as demandas de produção. Somado a isso, trabalhadores foram atraídos pelos novos postos de trabalho e novas formas foram acrescidas a paisagem seja para atender as necessidades industriais seja para suprir as demandas resultantes do crescimento populacional (BRASILEIRO; ZANELLA, 2021).

Ao avaliar o desenvolvimento da malha urbana da cidade ao longo dos anos, percebe-se que Sobral ganhou novos contornos a partir da década de 1990 (Figura 2). No começo da década de 1980, nota-se que a cidade apresentava menor área ocupada e maior preservação dos recursos naturais, o que se modifica nas

décadas posteriores, onde é possível observar uma evolução da área antropizada, sobretudo com a ocupação da margem direita do rio Acaraú e das porções limítrofes à Serra da Meruoca (BRASILEIRO; ZANELLA, 2021).

Na atualidade nota-se maior concentração da malha urbana na região do centro e bairros circunvizinhos, sobretudo nos bairros que ficam à margem esquerda do Rio Acaraú. Nota-se um padrão de expansão no sentido oeste/noroeste e leste/sudeste, associado as construções de residenciais e loteamentos. Na direção sul/sudoeste, verifica-se a predominância de equipamentos industriais, inclusive a existência de um distrito industrial nessa área e alocação de serviços. Ao Norte percebe-se o predomínio de muitos espaços abertos e corpos hídricos, com baixo padrão de ocupação, caracterizado por pequenos aglomerados e casas isoladas. Na porção nordeste da cidade, visualiza-se a ocorrência de indústrias e recentes construções de residenciais.

Figura 2 – Evolução da mancha urbana de Sobral no período de 1985 a 2021



Fonte: elaborado pelos autores.

Ao analisar as áreas de maior densidade construtiva é necessário correlacionar com as condições naturais da cidade, sobretudo as características do relevo, visto que estas influenciam diretamente na redução da temperatura e na dinâmica da ventilação. Em suma, a cidade de Sobral apresenta formas de relevo bem



definidas, a saber, a depressão sertaneja e a Serra da Meruoca. Assim, a cidade apresenta cotas altimétricas que alcançam os 260 metros de altitude nas regiões serranas e nas áreas residuais associadas ao relevo de maior altimetria. Por outro lado, em grande parte da cidade visualiza-se baixas cotas altimétricas, variando entre 0 a 100 metros de altitude, e, justamente, nessas zonas se verifica a maior densidade da urbanização. Esse fato relaciona-se ao processo de ocupação de Sobral que privilegiou as margens do rio Acaraú, regiões com menores cotas altimétricas. Assim, nota-se que a cidade já apresenta condições naturais propícias a formação de ilhas de calor atmosféricas.

A cidade de Sobral, por ser uma cidade de porte médio, apresenta algumas singularidades nas suas paisagens. Uma delas consiste na existência de muitos espaços vazios, sendo que a maior densidade de ocupação se dá nas áreas centrais e bairros próximos a essas. Ao mesmo tempo, como é uma cidade que vem apresentando continuamente influência regional, alocação de serviços e desenvolvimento industrial, conseqüentemente, aumentando sua população e densidade de construções, verifica-se a ocorrência de muitas áreas de expansão caracterizadas por agrupamentos isolados e por ocupações ainda não consolidadas.

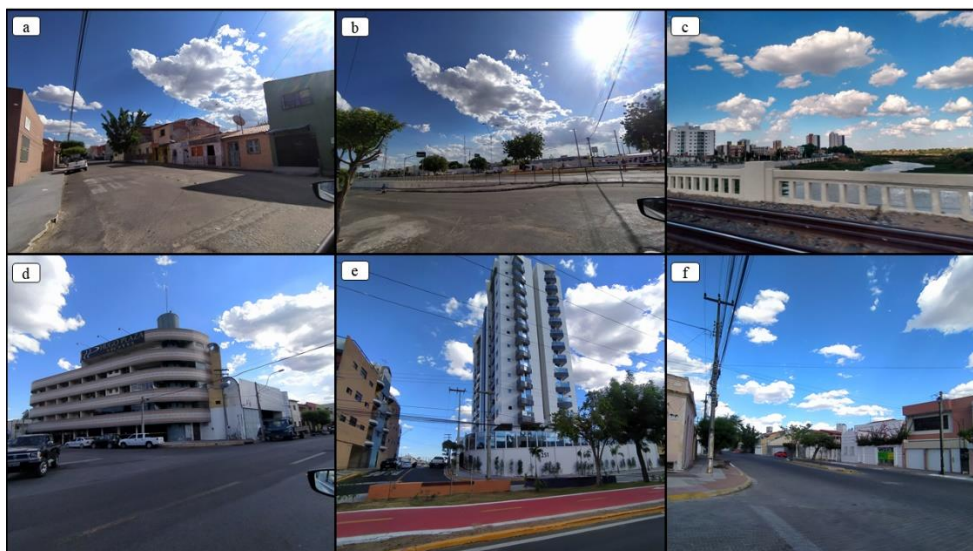
Do ponto de vista das características das edificações, nota-se em Sobral a predominância de residências de 1 a 2 pavimentos, sobretudo nas áreas de ocupação mais antigas. Em relação ao processo de verticalização, a cidade já deu seus primeiros passos, com a existência de prédios que ultrapassam os 10 pavimentos, entretanto estes não predominam na paisagem. Na cidade de Sobral, a verticalização intermediária se apresenta de forma mais contundente, a partir da existência de vários edifícios de 3 a 10 pavimentos, sobretudo em áreas de expansão por meio da construção de condomínios para a moradia (Figura 3).

Em relação a disponibilidade do verde na cidade, observa-se uma quantidade significativa de praças e parques que apresentam vegetação, além de áreas não ocupadas que denotam uma cobertura natural predominante da vegetação de caatinga. Além dessas áreas, as matas ciliares que percorrem o Rio Acaraú também se destacam. Contudo, percebe-se que a cidade apresenta extensas áreas impermeabilizadas e essas regiões são as que apresentam o menor quantitativo de verde, logo pode-se inferir que tais fatos afetam as temperaturas do ar e superficial nesses locais (Figura 4).

Nesse caminho, Brasileiro e Zanella (2021) em pesquisa inicial da tese em clima urbano consideraram tais aspectos climáticos e urbanísticos para traçar um perfil termal da cidade de Sobral, com o uso do Sensoriamento Remoto. A produção das cartas de temperatura de superfície evidenciou que as mudanças no sítio urbano são cruciais para delimitação de áreas com maior ou menor temperatura superficial. As áreas com temperaturas de superfície elevadas associaram-se a regiões densamente ocupadas e centrais. Do mesmo

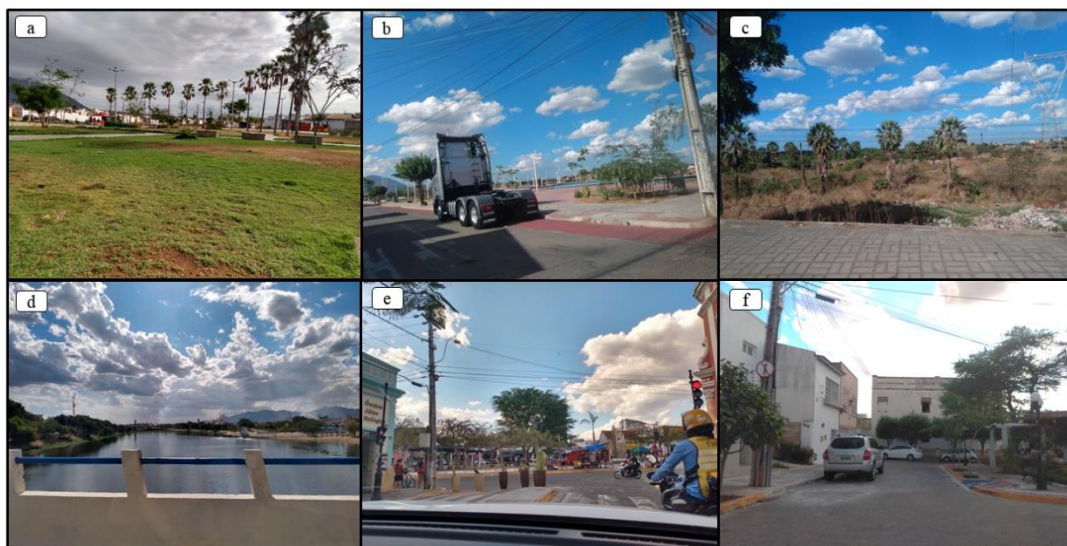
modo, as áreas com cobertura vegetal, baixa ocupação e com presença de corpos hídricos apresentaram temperaturas mais amenas.

Figura 3 - Feições da paisagem urbana de Sobral



Fonte: Organizado pela autora. As figuras A - F demonstram diferentes feições da paisagem urbana de Sobral, evidenciando as construções horizontais e verticais.

Figura 4 – Vegetação na paisagem urbana



Fonte: Organizado pelos autores. As figuras A - F evidenciam a presença de vegetação no ambiente urbano de Sobral, com destaque para as principais vias vegetadas, os parques, as praças e as matas ciliares.

As cartas termais consistem em uma importante ferramenta de análise do clima urbano, visto sua capacidade de identificar a resposta espectral dos componentes da paisagem e determinar a quantidade de



calor presente no ambiente. Por isso, nesse trabalho avançamos na adição dessa variável juntamente com outros componentes ambientais e urbanísticos, visando localizar com maior eficácia as zonas de temperatura correspondente a cidade de Sobral e predizer ambientes passíveis à geração de Ilhas de calor superficiais e, consequentemente, suscetíveis a ilhas de calor atmosféricas. Para tal, utilizamos a perspectiva do Mapeamento Climático Urbano (*Urban Climatic Map* - UCMaP).

METODOLOGIA

O Mapa Climático Urbano (*Urban Climatic Map* - UCMaP) consiste em uma ferramenta analítica que sobrepõe diferentes informações sobre o clima, ocupação e a morfologia de uma cidade, a fim de identificar as características térmicas da mesma.

A metodologia UCMaP teve como um dos principais precursores e difusores o pesquisador Lutz Katzshner (1997), este autor propôs em seu mapeamento a categorização dos elementos urbanos e climáticos, por meio de seu potencial de resfriamento ou aquecimento do recinto urbano e os fluxos de ventilação. Desse modo, cada elemento mapeado é analisado por seu potencial térmico e dinâmico e, posteriormente, atribuído a este um peso que se relaciona com o grau de impacto, negativo ou positivo, sobre o objeto em análise. Ou seja, o grau de impacto e os pesos atribuídos nas camadas geradas se referem a capacidade de cada elemento em gerar arrefecimento ou aquecimento da atmosfera urbana.

Esses processos resultaram no mapa de análises climáticas, denominado genericamente de UC-AnMap, neste apresenta-se as condições térmicas da cidade em estudo. Posteriormente, a partir desse mapa base, a metodologia propõe a elaboração de um mapa de recomendações ao planejamento, o UC-ReMap, que consiste na avaliação e proposição de medidas e ações orientadas ao planejamento urbano e climático da cidade. Neste artigo, propõe-se a construção e avaliação preliminar do UC-AnMap da cidade de Sobral, visto que os demais produtos estão inseridos no trabalho de tese em fase de desenvolvimento.

Desse modo, tendo por base os trabalhos de Ribeiro (2013) e Lima Júnior (2018), avaliou-se a princípio quais variáveis utilizadas nessas pesquisas tinham repertório para explicar sua relação com a produção do clima urbano de Sobral. Observou-se algumas características que eram importantes pontuar para entender o clima e a urbanização da cidade, tais como: a semiaridez, a industrialização, a malha urbana, a insolação, a dinâmica dos ventos, o relevo, etc. Somado a estes pontos, buscou-se abarcar o máximo de variáveis possíveis para assim determinar quais são as que melhor se adequam e explicam o clima urbano de regiões de baixas latitudes semiáridas. Além desses aspectos, buscou-se inserir variáveis que não foram



utilizadas nessas pesquisas, mas que apresentam condições propícias ao entendimento do fenômeno no ambiente em estudo.

Desse modo, foram definidas dez variáveis, sendo cinco delas responsáveis pela explicação das questões relativas à carga térmica da cidade, e as outras cinco, visavam entender como se comportava o potencial dinâmico. No quadro 1, elencamos as camadas utilizadas na elaboração do UCMMap de Sobral, categorizando-as de acordo com o balanço de energia que as mesmas imprimem na paisagem urbana, destacando a função urbana de cada variável, as características físicas das mesmas e os efeitos no conforto térmico do ambiente.

Quadro 1 – Classificação das camadas do mapa de análises climáticas

Balanço de energia	Característica física urbana	Camadas		Aspecto do clima urbano	Efeito no conforto térmico
Carga Térmica	Altitude e elevação	Altimetria		Resfriamento adiabático do ar em altas altitudes	Positivo
	Edificações no espaço urbano	Volume Edificado		Armazenamento de calor	Negativo
	Atividades antropogênicas	Uso do solo		Aquecimento antropogênico	Negativo
	Interação entre a superfície urbana e a atmosfera	Temperatura Superficial		Aquecimento da superfície urbana/interação superfície e atmosfera	Negativo
	Vegetação	Espaços Verdes		Resfriamento do ar	Positivo
Potencial Dinâmico	Permeabilidade urbana	Cobertura do solo		Obstrução e modificação dos fluxos de ar	Negativo
	Direção das vertentes	Orientação das Vertentes		Disponibilidade de radiação solar e entrada de ventos	Positivo
	Vegetação	Paisagem Natural		Movimento do ar	Positivo
	Encostas e declives	Declividade		Dinâmica da ventilação	Positivo
	Espaços Abertos	Proximidades	Espaços abertos	Troca de massas de ar e efeitos nas redondezas	Positivo
	Corpos d'água		Corpos d'água	Diminuição da temperatura na área de influência	Positivo

Fonte: Adaptado de SOUZA; KATZSCHNER, 2018.

Os pesos das variáveis foram atribuídos conforme o definido nas literaturas e o julgamento das pesquisadoras acerca do impacto que cada variável poderia gerar no clima urbano. Ressalta-se que além da atribuição dos pesos para cada camada, atribuiu-se também escalas de pesos para os componentes da legenda de cada mapa, que variaram de 1 a 5.



Após a ponderação das camadas, os dados dos mapas temáticos preliminares foram sobrepostos e obteve-se a elaboração de dois mapas, o de carga térmica e o de potencial dinâmico. O mapa de carga térmica foi composto de informações que contribuem de forma positiva ou negativa com o aquecimento do ambiente urbano. Na pesquisa em questão as variáveis que compuseram esse mapa foram: Altimetria; Volume edificado; Uso do solo; Temperatura da superfície terrestre; e, Espaços verdes. Os elementos analisados nessa etapa receberam pesos positivos devido a sua contribuição para o aumento da carga térmica, com exceção da camada espaços verdes que recebeu peso negativo, haja vista, que a presença de vegetação pode mitigar os efeitos da carga térmica.

Em relação ao mapa de potencial dinâmico, o mesmo consiste na sobreposição de informações que contribuem para a dinâmica de ventilação da cidade, ou seja, elementos que possuem capacidade de gerar arrefecimento no ambiente analisado. Neste mapa utilizou-se as variáveis: Cobertura do solo; Orientação das Vertentes; Vegetação; Declividade e Proximidades à espaços abertos e a corpos d'água. Todas as variáveis analisadas nessa etapa receberam pesos negativos, haja vista, que todas contribuem para a mitigação dos efeitos da carga térmica, a partir das suas contribuições na dinâmica dos ventos no ambiente urbano.

Convém destacar, que a escolha das variáveis se baseou nos trabalhos de Ribeiro (2013) e Lima Júnior (2018), haja vista, que são trabalhos que propuseram uma revisão da metodologia original de Katzshner (1997) adequando para as suas realidades, além de oferecerem arcabouço teórico para aplicação da metodologia em regiões de clima tropical. Todavia, buscou-se também analisar quais as variáveis tinham relação com a área em estudo e acrescentar as que eram necessárias para o entendimento do fenômeno no contexto de Sobral.

Para a combinação dos mapas utilizou-se o *software ArcGis*, a partir da ferramenta *raster calculator* que está disponível na extensão *Spatial Analyst*. Na área de trabalho da calculadora raster inseriu-se a equação 1, contendo as variáveis, os pesos e as operações matemáticas adequadas ao modelo em estudo.

$$(V1 * p + V2 * p + V3 * p + V4 * p + V5) \quad (1)$$

Onde, a letra V representou as variáveis ou camadas *raster*, multiplicadas pelo *p*, que trata do peso de cada elemento. Para o estudo atribuímos peso 1 as cinco camadas, tendo vista que já havíamos realizado a ponderação dos elementos de acordo com o grau de importância e relacionamento com o fenômeno em estudo.



O mapa final foi gerado por meio da adição das camadas, resultando em um novo *layer* contendo na legenda a somatória das duas informações (carga térmica e potencial dinâmico), sendo necessário realizar a reclassificação para as classes de interesse. A reclassificação seguiu a perspectiva de similaridade entre as feições abarcadas em cada classe e considerando a divisão equitativa entre as legendas dos mapas bases.

RESULTADOS

A elaboração das dez camadas bases possibilitaram avaliar as características naturais, climáticas e urbanas da cidade de Sobral/CE. A camada altimetria evidenciou que a cidade em estudo apresenta cotas altimétricas que variam entre 0 e 260 metros, demonstrando que a urbe apresenta predominantemente relevos rebaixados, haja vista que a mesma está localizada no sopé da Serra da Meruoca. O mapa foi classificado em intervalos altimétricos, onde consideramos como áreas de maior contribuição para o aumento da carga térmica aquelas com menor altitude.

A camada volume edificado evidenciou que a cidade apresenta muitos espaços vazios e maior densidade construtiva na região central. Sobral é uma cidade média com pouco mais de 200 mil habitantes, logo não apresenta uma malha urbana consolidada, diferentemente do que se observa em cidades de grande porte e densamente povoadas. Entretanto, nota-se a expansão contínua da cidade em relação aos vazios urbanos, sobretudo a partir da construção de condomínios e loteamentos. O maior destaque da malha urbana sobralense se situa no centro e nos bairros circundantes, sendo essas áreas correspondentes ao maior volume edificado, portanto receberam maior ponderação no modelo visto o seu potencial para aumento da carga térmica.

A camada uso do solo foi utilizada para entender o clima urbano de Sobral, tendo em vista a expansão de algumas morfologias urbanas que, a priori, apresentam forte potencial para liberação de calor extra na atmosfera. Para tal, avaliou-se as áreas industriais e as áreas verticalizadas, considerando que são estruturas que demandam maior consumo de energia. Já em relação a camada do mapa termal observou-se sua importância para Sobral, haja vista, que ela representa a resposta direta da atmosfera perante a carga construída do ambiente urbano, sendo, portanto, um elemento que evidencia o comportamento da atmosfera e o ambiente construído na geração de ilhas de calor, ou mesmo, para entender a disposição da carga térmica na cidade. As temperaturas mais elevadas foram utilizadas no modelo, tendo em vista sua capacidade de aquecimento, e as temperaturas mais baixas receberam peso nulo.

Considerando a importância de espaços verdes no contexto urbano, verificou-se em Sobral as áreas que continham ou não cobertura vegetal. Nota-se na cidade a presença considerável de espaços verdes,



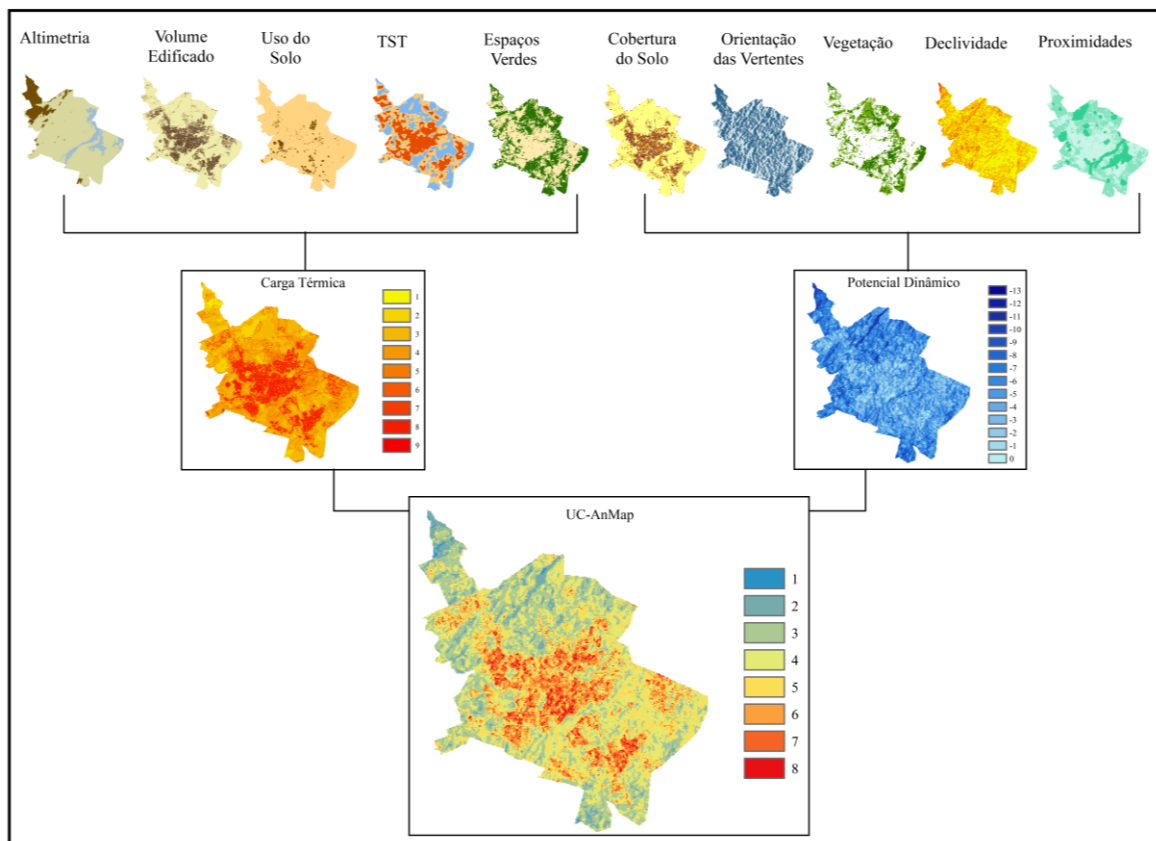
principalmente nas áreas menos adensadas e com espaços vazios. As margens do Rio Acaraú, sobretudo a margem direita, consiste em um importante cinturão verde dentro da cidade. Os extremos das porções norte, leste, sudeste e sul também se destacam com a existência de uma cobertura vegetal considerável, associada sobretudo a baixa densidade ou inexistência de ocupação urbana. Estas zonas agem como mitigadores dos efeitos da carga térmica, portanto receberam peso negativo na classificação.

As camadas supracitadas resultaram no mapa de carga térmica. Este mapa apresentou nove classes (variando de 1 a 9) que continham as variações térmicas do ambiente urbano em análise. Assim, as áreas compreendidas com os valores mais próximos de 1, representaram as áreas de menor carga térmica, e as áreas com valores mais próximos de 9, consistiram nos ambientes com maior carga térmica da cidade, ou seja, os ambientes mais propensos ao armazenamento de calor. Em Sobral nota-se que as áreas de maior contribuição térmica se situam no centro da cidade e bairros adjacentes. Já as áreas de menor potencial térmico estão justamente nas regiões menos adensadas e associadas a presença de corpos hídricos, espaços abertos e com cobertura de vegetação (Figura 5).

A camada de cobertura do solo revelou a capacidade de porosidade e da rugosidade do ambiente urbano perante a maior ou menor permeabilidade dos ventos no recinto da cidade. Desse modo, verifica-se que as áreas que apresentam maiores índices de rugosidades e menor capacidade de porosidade são áreas propícias ao menor potencial de ventilação. Por outro lado, as áreas com menor densidade de ocupações são as que apresentam maior permeabilidade aos ventos. Para Sobral, após o cálculo de cobertura das feições dispostas na paisagem da cidade, considerando a área ocupada, sua projeção e permeabilidade aos ventos, determinou-se três classes de potencialidade ao escoamento da ventilação, sendo que a classe de menor efeito bioclimático recebeu maior ponderação.

A camada orientação das vertentes foi utilizada para identificar as zonas mais propícias a entrada dos ventos locais e regionais. Assim, as vertentes situadas ao leste e sudeste receberam maior peso dentro da classificação, visto que são as principais direções de entrada dos ventos alísios de sudeste, principal sistema de ventos regionais atuante no estado do Ceará, inclusive em Sobral. Já em relação a camada vegetação avaliou-se a especificação das tipologias de cobertura vegetal, haja vista que dependendo do porte da vegetação, esta pode agir como uma barreira natural a dinâmica da ventilação, assim como, áreas com porte vegetacional mais baixo facilita o deslocamento dos ventos.

Figura 5 – Esquematisação do UCMaP de Sobral



Fonte: Elaborado pelos autores.

A camada declividade revelou que regiões com declives maiores que 40% apresentam maiores benefícios ao clima urbano, visto que interferem na dinâmica dos ventos localmente a partir da atuação do relevo. Desse modo, para Sobral mapeou-se as áreas de maior declividade e atribuiu-se maior ponderação, ao mesmo tempo que as áreas planas receberam peso nulo. Por fim, a camada proximidades relacionou-se a disposição espacial de corpos hídricos e espaços abertos, haja vista que a proximidade a essas feições promove o acesso as brisas e menores obstáculos ao deslocamento dos ventos. Em Sobral, observa-se que o centro urbano mais adensado não recebe influências significativas desses elementos e apesar de termos alguns espelhos d'água na paisagem urbana da cidade, estes abarcam poucas áreas isoladas ou vazios urbanos. O rio Acaraú talvez seja o corpo hídrico de maior influência para o ambiente urbano de Sobral, agindo como um corredor de ventos, embora esta área esteja cercada por equipamentos urbanos.

As camadas mencionadas compõem o mapa de potencial dinâmico. Este evidenciou que há uma relação inversamente proporcional se comparado ao mapa de carga térmica, onde as regiões com maior potencial dinâmico são áreas que apresentam baixa carga térmica e pouca densidade construtiva. As áreas com maiores declividades, com vertentes associadas a entrada de ventos e a proximidade a espaços abertos



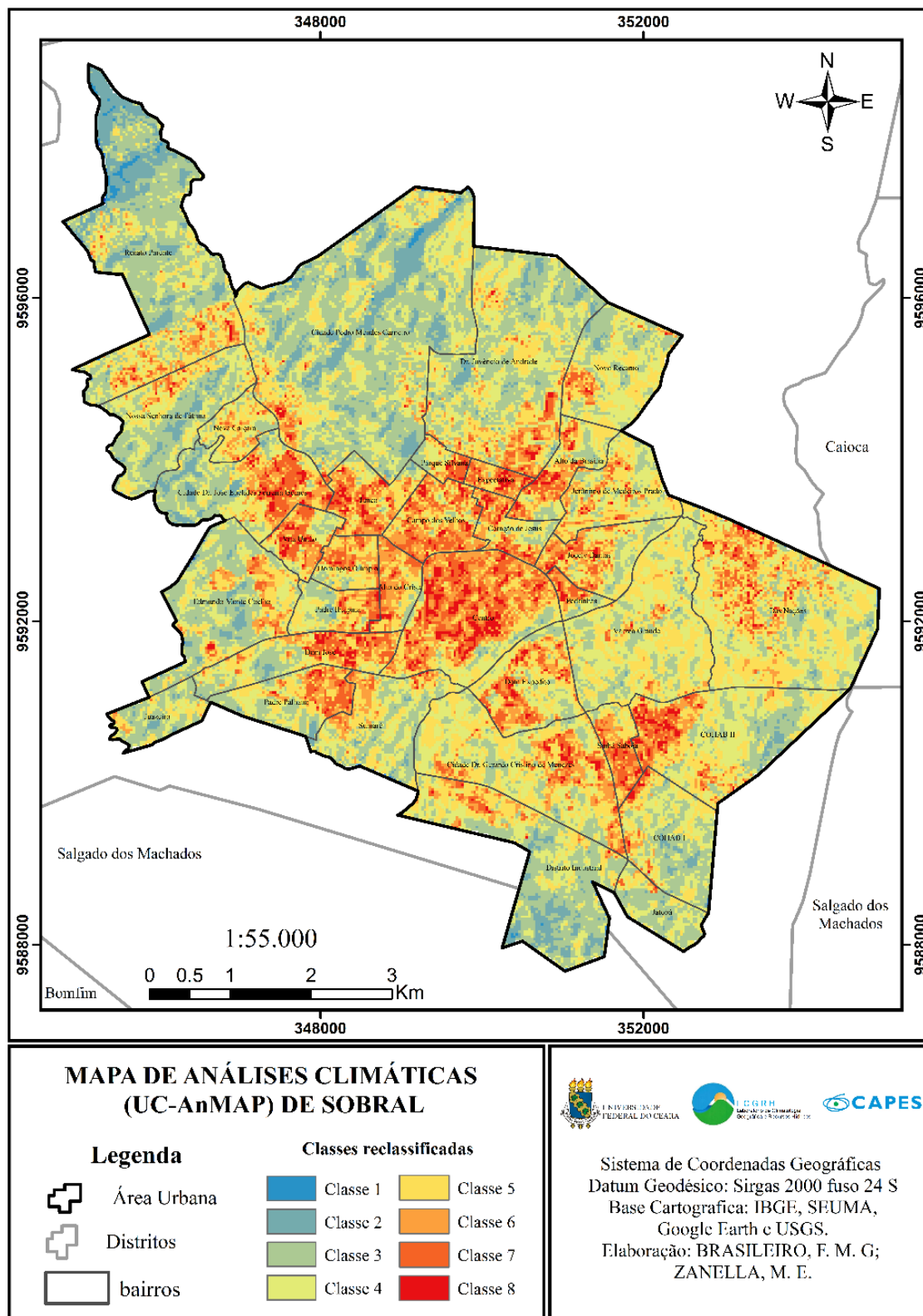
e corpos d'água se destacaram como as áreas de maior potencial de ventilação da cidade, logo apresentam maiores condições de arrefecimento. Grande parte dessas áreas estão situadas na porção norte e noroeste da cidade, áreas que apresentam baixa densidade de ocupação. A porção da cidade referente ao rio Acaraú também apresenta condições positivas de potencial dinâmico, mas nota-se que este potencial não supera outras áreas da cidade, pois as condições de ventilação se apresentam canalizadas por áreas de baixo potencial dinâmico (Figura 5).

A junção dos mapas de carga térmica e potencial dinâmico resultaram no mapa de análises climáticas (UC-AnMap). O UC-AnMap de Sobral identificou 8 classes climáticas, que correspondem a zonas com potencialidades ao armazenamento de calor e/ou ao arrefecimento urbano. Essas classes configuram climatopos que apresentam certo grau de homogeneidade, quando consideramos os aspectos físicos, a morfologia urbana, a posição topográfica, as condições naturais de ventilação etc., gerando interações particulares com a atmosfera (FERREIRA; ASSIS; KATZSCHNER, 2017).

Nesse sentido, a avaliação do UC-AnMap evidenciou que a paisagem da cidade é composta de 8 classes de climatopos com características singulares e com efeitos diversos no conforto, o que denota diferentes tratamentos na avaliação e na mitigação de possíveis efeitos negativos, tais aspectos são evidenciados no quadro 2 e serão melhor analisados a seguir (Figura 6).

A classe 1 apresenta o primeiro climatopo evidenciado na paisagem urbana, sendo que esta tem como função climática proporcionar o resfriamento do ar, a partir da disposição de áreas vegetadas, próximas a corpos hídricos e influenciadas pela topografia. A existência dessas áreas no recinto da cidade favorece a amenização moderada do conforto térmico, apresentando, portanto, elevada importância para a amenização climática. Estas feições foram visualizadas em 0,10 km², denotando um percentual de área coberta igual a 0,2%, como se observa, as mesmas apresentaram baixa representatividade na paisagem de Sobral, devido sobretudo os baixos declives predominantes na cidade. Tais classes foram identificadas nas áreas sem adensamento urbano e em áreas de expansão. O climatopo evidenciado na classe 1, foi encontrado no extremo leste do bairro Cidade Pedro Mendes Carneiro, na porção norte do bairro Renato Parente e no extremo sul do bairro Distrito Industrial.

Figura 6 – Mapa de Análises climáticas de Sobral – CE



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Quadro 2 – Classificação e avaliação das classes do mapa de análises climáticas

Classes	Aspecto climático	Impacto no conforto	Caracterização	Avaliação
1	Resfriamento do ar	Amenização moderada	Áreas vegetadas; próximas a corpos d'água; influenciadas pela topografia	Elevada importância para amenização climática
2	Renovação e circulação do ar	Amenização leve	Matas, bosques, campos abertos e verdes	Importante na circulação dos ventos
3	Atividade climática baixa	Neutro	Áreas pouco adensadas, muitos espaços abertos e presença de vegetação	Não afeta o aumento da temperatura do ar e exerce influência sobre a dinâmica dos ventos locais
4	Atividade climática relevante	Elevação leve	Áreas ocupadas por edificações residenciais, presença de espaços abertos e baixa rugosidade	Apresenta baixa contribuição para o aumento da temperatura do ar
5	Carga térmica baixa	Moderado	Áreas com baixa rugosidade, densidade de ocupação moderada e com presença de poucos espaços verdes	Carga térmica moderada para elevação da temperatura do ar
6	Carga térmica relevante	Moderadamente forte	Áreas fortemente adensadas por edificações residenciais de baixa altura, com média rugosidade.	Elevada carga térmica, com prejuízos ao conforto térmico
7	Carga térmica alta	Elevação Forte	Áreas fortemente adensadas por edificações, com ganhos antropogênicos significativos, escassez de vegetação e espaços abertos e com rugosidade elevada	Carga térmica forte, com efeitos negativos ao clima urbano
8	Carga térmica muito alta	Muito Forte	Áreas com elevado adensamento, baixa permeabilidade do solo, pouca vegetação e com rugosidade muito alta	Carga térmica muito forte, com efeitos críticos para o clima urbano. Tais aspectos direcionam para a ocorrência do fenômeno ilhas de calor

Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2013. Organizado pelos autores.

A classe 2 tem como função climática favorecer a renovação e circulação do ar, proporcionando uma amenização leve no conforto do ambiente. Essa área está associada a existência de matas, bosques e campos abertos e verdes, apresentando importância singular na circulação dos ventos que adentram a cidade. Tal classe apresentou uma ocupação de 3 km² e taxa percentual de 5,4%. Tais feições podem ser visualizadas em quase toda a totalidade dos bairros Renato Parente, Cidade Pedro Mendes Carneiro e Nossa Senhora de Fátima. Pequenas porções dos bairros Dr. Juvêncio de Andrade, Novo Recanto, o oeste do bairro Cidade Dr. José Euclides e o sul do Distrito Industrial também se destacam na presença desse climatopo. Alguns pontos isolados ao oeste e ao sudeste da cidade apresentam esse climatopo com menor representatividade.

A classe 3, composta por áreas pouco adensadas, com muitos espaços abertos e com presença de vegetação, apresentou atividade climática baixa com impacto neutro no conforto do ambiente urbano. Tais áreas não contribuem fortemente para o aumento da temperatura do ar, mas exercem influência relevante sobre a dinâmica dos ventos locais. Essas feições ocuparam uma área de 15,1 km², o que representa um percentual de área coberta igual a 27,4%. Essa classe pode ser visualizada em praticamente toda a cidade, com destaque para os bairros que não apresentam densidade construtiva, logo, as porções norte, oeste e sul, são as regiões com ocupação desse climatopo mais significativas.

A classe 4 pode ser caracterizada por sua atividade climática relevante, por meio da elevação leve do potencial térmico da cidade. A morfologia urbana predominante consiste na existência de áreas ocupadas



por edificações residenciais, presença de espaços abertos e baixa rugosidade. Portanto, esse climatopo apresenta baixa contribuição para o aumento da temperatura do ar, contribuindo também para a dinâmica de ventilação natural. Essas feições estão presentes em todo o território de Sobral, sendo menos recorrentes na região central da cidade. Apresentam uma área ocupada de 13,5 km² e taxa percentual de cobertura igual a 24,5%.

A classe 5 apresenta carga térmica baixa, resultando em um impacto moderado no conforto térmico do ambiente próximo a superfície. Tal classe é composta de áreas com baixa rugosidade, densidade de ocupação moderada e com presença de poucos espaços verdes. Observa-se que essa classe pode contribuir com a ventilação natural, tendo em vista sua baixa rugosidade, entretanto devido o aumento da densidade de ocupação, esta contribui de forma moderada para a elevação das temperaturas. A área ocupada por essa classe é de 12,6 km² e o percentual de área coberta consiste em 22,9 %. Assim como a classe 4, essas feições estão presentes em todos os bairros da cidade de Sobral.

A classe 6 é composta por áreas fortemente adensadas por edificações residenciais de baixa altura, com média rugosidade, por esse motivo apresentam carga térmica relevante e impacto moderadamente forte no conforto do ambiente urbano. Devido a essas características e o balanço de energia imprimido na paisagem, essas feições provocam elevados prejuízos ao conforto térmico. Tal classe pode ser visualizada no bairro do centro e áreas circunvizinhas, com destaque para os principais aglomerados suburbanos. A área ocupada por essa classe consiste em 5,5 km², que corresponde a um percentual de 10% de cobertura.

A classe 7 consiste em áreas fortemente adensadas por edificações, com ganhos antropogênicos significativos, escassez de vegetação e de espaços abertos e com rugosidade elevada. Essas características da morfologia urbana permitem a composição de uma carga térmica alta e o aumento do desconforto térmico ambiente, provocando efeitos negativos no clima urbano. Tais feições estão presentes em todo o eixo de ocupação da cidade de Sobral, ocupando uma área de 4,1 km², o que equivale a 7,4% de cobertura.

Por fim, a classe 8 é caracterizada pelo predomínio de uma carga térmica muito alta, com impactos fortes no conforto térmico, gerando efeitos críticos para o clima urbano. Essas áreas estão associadas a regiões com elevado adensamento construtivo, baixa permeabilidade do solo, pouca vegetação e alta rugosidade. Tais aspectos permitem inferir que as áreas de ocorrência desses climatopos são zonas propensas a formação de ilhas de calor superficiais e atmosféricas. Nesse sentido, o mapeamento dessas áreas é muito relevante para a mitigação desse fenômeno. A área ocupada por essas feições em Sobral é de 1,2 km², representando uma área coberta de 2,2%.



Em relação a localização desse climatopo, observa-se que as áreas mais significativas na visualização dessas feições se deram na porção leste da Cidade Dr. José Euclides, nos bairros Vila União, Junco, Dom José, Centro, Campo dos Velhos, Expectativa, Dom Expedito, Sinhá Sabóia e nas porções oeste da COHAB II e Leste do bairro Cidade Gerardo Cristino de Menezes.

Observa-se que a aplicação do UCMMap em Sobral evidenciou características térmicas que precisam ser incluídas no contexto do planejamento urbano e climático da cidade. Grosso modo, um percentual considerável de áreas estão propensas ao aumento da temperatura de superfície e do ar, devido as condições da morfologia urbana local, e isso impacta diretamente no clima urbano da cidade. Observa-se que essas áreas compreendem 42,5% do total de cobertura do ambiente urbano (classes de 5 a 8), destes uma área coberta de 2,2% já inferem condições para a formação de ilhas de calor superficiais e atmosféricas, logo pode-se aplicar medidas corretivas em busca de mitigar esses efeitos adversos no clima da cidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cidades a partir das modificações em suas paisagens tem permitido a ocorrência de diferentes questões ambientais, sobretudo as do âmbito climático. As ilhas de calor se destacam nesse cenário, visto que podem afetar no conforto térmico, na geração de impactos na saúde dos cidadãos e no aumento do consumo de energia.

Constatou-se que na atualidade os estudos em clima urbano pressupõem um conhecimento interdisciplinar entre os elementos do clima, o sítio e os aspectos da urbanização. Nesse contexto se insere a metodologia UCMMap, haja vista, que a mesma oferece bases teóricas e metodológicas para explorar todas as características que impõem diferenciações no balanço de energia da cidade em diferentes escalas de análise.

A aplicação do UCMMap em trabalhos de diferentes realidades geográficas e com as devidas adaptações, permitiu identificar os elementos da paisagem urbana que apresentam potencial térmico e dinâmico. Do mesmo modo, o cruzamento destes dados e a atribuição de pesos aos elementos da paisagem foram essenciais para identificar a capacidade de arrefecimento ou aquecimento da atmosfera urbana da cidade de Sobral. Tal processo permitiu a geração de mapas temáticos que evidenciaram os diferentes aspectos do balanço de energia na cidade, evidenciando as áreas mais frescas e as mais quentes, com indicativo para a formação das ilhas de calor (ACERO *et al*, 2015; LIMA JUNIOR, 2018; RIBEIRO, 2013).

Para a cidade de Sobral identificamos oito climatopos que impõem diferentes balanços de energia a paisagem urbana, grande parte deles estão associados a áreas com potencial de elevação da temperatura do



ar e estão presentes, sobretudo, em regiões densamente ocupadas e com baixa cobertura vegetal. De bases desses dados, convém delinear em análises posteriores ações e medidas que possam atenuar as questões climáticas resultantes dessas alterações, contribuindo para o planejamento urbano e climático da cidade em estudo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ACERO, J. A *et al.*, Urban climate multi-scale modelling in Bilbao (Spain): a review. **Proc. Eng.**, v. 115, p. 3-11, 2015.
- AMORIM, M. C. C. T. **Ilhas de calor em cidades tropicais de médio e pequeno porte**: teoria e prática. 1ª edição. Curitiba: Appris, 2020. 161 p.
- AMORIM, M. C. C. T. O clima urbano de Presidente Prudente/SP. 2000. 378 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- ANDRADE, H. O clima urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, v. 40, n. 80, p. 67-91, 2005.
- BAUMÜLLER, J. *et al.* **Klimaatlas Region Stuttgart**. Stuttgart: **Verband Region Stuttgart**, 2008.
- BRASILEIRO, F. M. G.; ZANELLA, M. E. Ocorrência de ilhas de calor no espaço urbano: reflexões no contexto da cidade de Sobral, Ceará. **Geopauta**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 1-23, 2021.
- CASTRO, F. S.; COSTA, R. A. Clima urbano em cidades pequenas: uma reflexão sobre sua construção teórica-metodológica. In. XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2016, Goiânia/GO. **Anais...Goiânia**, 2016.
- FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S.; KATZSCHNER, L. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 7, p. 255-270, 2017.
- FREITAS, R. F. M. *et al.* Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 23, p. 1-31, 2021.
- GALVAN, C.T. G.; FLÁVIO L. C. Estudo bibliográfico sobre o processo de industrialização, a urbanização e o desenvolvimento da habitação no Brasil. **Revista unioeste**, v. 9, n. 9, 2007.
- GARCÍA, F. F. Ciudad y cambio climático: aspectos generales y aplicación al área metropolitana de Madrid. **Investigaciones Geográficas**, n.49, p. 173-195, 2009.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248p.
- KATZSHNER, L. The Contribution of urban climate studies to a new urbanity. **Anais Encac**, 1997.
- LANDSBERG, H. E. **The climate of towns. Man's role in changing the face of the Earth**. Edited by W. L. Thomas. Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research: The University of Chicago Press, 1956.
- LIMA JÚNIOR, A. F. Análise espaço-temporal da dengue em Fortaleza e sua relação com o clima urbano e variáveis socioeconômicas. 2018. 169 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.



LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor das metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

LUCENA, R. L.; STEINKE, E. T. Fatores geográficos e padrões de circulação atmosférica como base à compreensão do clima semiárido quente da região Nordeste. In: **II Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro**. <https://www.researchgate.net/publication/289252154>. 2017.

MELO, H. M.; GANHO, N. Esboço de definição de climatopos no espaço urbano e periurbano de Mangualde (Portugal). Aplicação ao ordenamento urbano. **Cadernos de Geografia**, n. 32, p. 95-104, 2013.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976.

MOURA, T. *et al.* Urban Climatic Map of Salvador, Brazil, using a Land Use Pattern Methodology. **Cybergeog: European Journal of Geography**, n. 1010, 2022.

MUNIZ, L. F. *et al.* Classificação climática para o estado do Ceará utilizando distintos sistemas de caracterização. In: Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos – SBRH. **Anais...** Florianópolis, Santa Catarina, 2017.

NG, E. *et al.* Final report of Hong Kong urban climatic map and wind environment – Feasibility study. Hong Kong: **CUHK**, Department of Architecture, 2012.

NG, E.; REN, C. **The Urban Climatic Map**: A Methodology for Sustainable Urban Planning. Routledge, 1st ed, 2015.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Routledge, 2nd ed, 1987.

PARTIDÁRIO, M. R. **Indicadores de qualidade do ambiente urbano**. Direção geral do ordenamento do território e do desenvolvimento urbano, Lisboa, 2001.

RIBEIRO, C. A. M. Atualização e aprofundamento do mapa de análises climáticas do município de Joao Pessoa-Paraíba. 2013. 157 f. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

RIZWAN, A. M.; DENNIS, Y.C. L.; LIU, C. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. **Journal of Environmental Sciences**, vol. 20, p. 120–128, 2008.

SEPE, P. M.; TAKIYA, H. Atlas ambiental do município de São Paulo – o verde, o território, o ser humano. São Paulo: **SVMA**, 2004.

SOUZA, C. A.; PARANHOS FILHO; A. C.; GUARALDO, E. Estudo bibliométrico sobre ilhas de calor urbanas e zonas climáticas locais. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 26, p. 51 – 69, 2020.

SOUZA, V. S.; KATZSCHNER, L. Mapa climático como ferramenta de gestão urbana: estudo na cidade de João Pessoa/PB. In: Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, n° 17, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

SOUZA, V. S. **Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa /PB**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em arquitetura e urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

UGEDA JÚNIOR, J. C.; AMORIM, M. C. C. T. Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas. **Revista do Departamento de Geografia USP**. v. Especial, p. 160-173, 2016.

ZANELLA, M. E. Considerações sobre o clima e os recursos hídricos do semiárido nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**. v. especial, p. 126-142, 2014.

ZHOU, X.; CHEN, H. Impact of urbanization-related land use land cover changes and urban morphology changes on the urban heat island phenomenon. **Sci. Total Environ.**, v. 635, p. 1467-1476, 2018.