Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ESTUDO SOBRE A DIMENSÃO DO RAIO DA ÁREA DE ORIGEM TÉRMICA PARA A MEDIÇÕES DA TEMPERATURA DO AR URBANO

Study about the size of the radius of the thermal source area for the measurement of air temperature

Estudio de la dimensión del radio del área de la fuente térmica para la medición de la temperatura del aire urbano

Yan Carlos Gomes Vianna
Departamento de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF
yan.vianna@ufjf.br

Fabio de Oliveira Sanches
Departamento de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF
fabio.sanches@ufjf.br

Cássia de Castro Martins Ferreira
Departamento de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF
cassia.castro@ufjf.br

Resumo: O presente artigo faz uma discussão metodológica sobre o tamanho da área, da qual deriva a temperatura do ar, lida por um sensor. Essa discussão se dá através da revisão da produção da Geografia Climatológica Brasileira e de uma investigação empírica considerando o sítio, o padrão de urbanização brasileiro, os equipamentos normalmente utilizados e nosso clima tropical. Elementos que divergem muito dos quais se deparam pesquisadores estrangeiros de referência. Baseando-se no levantamento bibliográfico, são definidos raios de 25, 50, 100, 150 e 200 metros correlacionados com a temperatura do ar e com o grau de impermeabilidade do solo em 8 pontos distintos da cidade de Ubá-MG. Chegou-se à conclusão que áreas de origem muito grandes (com raios maiores que 150m) ou áreas com raios muito pequenos (como 25m) não conseguem explicar bem a temperatura do ar em relação a área urbanizada desses pontos. Foi encontrado um melhor ajuste com raios de 50m e 100m em torno dos pontos, sendo 100m mais adequados para áreas menos adensadas e 50m para áreas mais densas com cânions urbanos mais profundos.

Palavras-chave: Clima Urbano. Área de influência térmica. Ilha de calor.

Abstract: This paper approaches a methodological discussion regarding the extent of thermal source area from which the air temperature measurement is derived. This analysis reviews the brazilian

Geographical Climatology production and an empirical investigation considering the site, the brazilian urbanization pattern, the equipment tipically used and our tropical climate. These aspects differ greatly from what the foreign leading researches faces in their studies. Based on the bibliographic survey, the radius of 25, 50, 100, 150 and 200 meters are defined, correlating with the air temperature and the degree of impermeability of the soil in 8 different points of the city of Ubá-MG. It was concluded that very large source areas (with radii greater than 150m) or areas with very small radii (such as 25m) cannot adequately explain the air temperature in relation to the urbanized area of the studied points. A more accurate model fitting was found with radii of 50m and 100m around the points, with 100m being more suitable for less densely populated areas and 50m for denser areas with more deeper urban canyons.
Keywords: Urban Climate. Thermal source area. Heat Island.

Resumen: Este artículo hace una discusión metodológica sobre el tamaño del área de donde se deriva la temperatura del aire leída por un sensor. Esta discusión se lleva a cabo a través de una revisión de la producción de la geografía climatológica brasileña y una investigación empírica considerando el sitio, el patrón de urbanización brasileño, los equipos normalmente utilizados y nuestro clima tropical. Elementos que difieren mucho de los que se enfrentan los principales investigadores extranjeros. Con base en el levantamiento bibliográfico, se definen radios de 25, 50, 100, 150 y 200 metros, correlacionados con la temperatura del aire y el grado de impermeabilidad del suelo en 8 puntos diferentes de la ciudad de Ubá-MG. Se concluyó que áreas de fuentes muy grandes (con radios mayores a 150m) o áreas con radios muy pequeños (como 25m) no pueden explicar bien la temperatura del aire en relación al área urbanizada de estos puntos. Se encontró un mejor ajuste con radios de 50 my 100 m alrededor de los puntos, siendo 100 m más adecuado para áreas menos densamente pobladas y 50 m para áreas más densas con cañones urbanos más profundos.
Palabras clave: Clima Urbano. Área de influencia térmica. Isla de calor.

Submetido em: 25/11/2022
Aceito para publicação em: 07/06/2023
Publicado em: 30/06/2023

1. INTRODUÇÃO

Os estudos sobre o comportamento térmico urbano ganham cada vez mais importância devido à crescente concentração da população mundial nas grandes cidades e aos aumentos das temperaturas globais em curso. O Brasil é um país cujo território está predominantemente na zona intertropical do planeta. Essa zona é caracterizada por intensa incidência de radiação solar, elevadas temperaturas e grande pluviosidade (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). No ambiente tropical no qual o Brasil se encontra, devido as altas temperaturas, a população sofre naturalmente com situações de estresse térmico em determinados períodos do ano (AMORIM; DUBREUIL; CARDOSO, 2015).

As mudanças climáticas intensificam tais características do clima tropical e geram maiores eventos extremos que impactam de forma negativa diretamente os citadinos, sob a forma de mais frequentes ondas de calor (que se associam ao já muito relatado fenômeno das ilhas de calor), enchentes urbanas, secas, movimentos de massa dentre outros. Dessa forma, compreender melhor o clima urbano e criar estratégias para mitigar seus efeitos se tornam imprescindíveis nesse cenário.

Os primeiros estudos sobre as ilhas de calor urbana, entendida como o fenômeno em que a cidade tem um clima mais quente e seco do que o ambiente rural do entorno, datam do século XIX[1]. Trata-se de um fenômeno inerente à urbanização e que se manifesta em todos os tipos de áreas urbanas de pequenas a grandes cidades, com menor ou maior grau de intensidade conforme as características da urbanização no local (STEWART; OKE, 2012).

As duas principais causas do fenômeno são: a diferença da composição dos elementos urbanos e seus materiais construtivos em comparação com os elementos que formam as zonas rurais e florestadas. Esses materiais construtivos presentes nas áreas urbanas, tais como as coberturas asfálticas e o concreto, absorvem e retêm mais calor vindo do Sol (GARTLAND, 2010). A segunda causa está relacionada à disposição espacial dos elementos urbanos, o que favorece que o calor fique aprisionado no interior da cidade,

[1] o estudo de Howard (2022) sobre o clima de Londres em 1818.

criando barreiras verticais que ampliam a área de absorção da radiação e diminuem a ventilação que possibilita maior dissipação do calor (STEWART; OKE, 2012).

As consequências do fenômeno em climas tropicais ou durante estações quentes são negativas no aspecto fisiológico: aumentam o estresse térmico de pessoas, plantas e animais e, em caso de vulnerabilidade, pode até levar ao óbito. O mesmo também tem consequências econômicas, uma vez que aumenta a demanda de energia para refrigerar artificialmente os ambientes de trabalho e moradias (STEWART; OKE, 2012).

Na investigação desse fenômeno, a abordagem clássica para a descrição do comportamento térmico urbano é mensurar a temperatura do ar em um "ponto urbano" e comparar com um ponto "rural", ou, mais corretamente dito, não densamente urbanizado. Contudo, com o avanço das pesquisas na área, se torna insuficiente apenas classificar os pontos de coleta como urbano ou rural.

A temperatura do ar medida em um ponto é reflexo do uso e ocupação daquele ponto, por isso a necessidade de descrever e classificar a paisagem urbana ao entorno dos mesmos. Oke e Stewart (2012) chamam essa área de origem térmica, que também pode ser chamada de pegada ou círculo de influência do equipamento. A temperatura do ar lida pelos sensores não é apenas resultante daquele ponto imediato, mas resultante de uma área de aquecimento superficial da qual deriva a temperatura do ar e que, por transporte turbulento, é lida pelo sensor. Áreas do entorno imediato exercem maiores influências na temperatura do ar registrada, mas essa depende, por exemplo, da densidade e disposição de prédios no local. A mesma cresce com altura do equipamento e com as estabilidades do tempo (OKE, 2004).

Essa pesquisa objetiva discutir como foi retratada a área de influência de medida de temperatura do ar nos estudos do campo térmico na metodologia dos trabalhos realizados pela climatologia geográfica no Brasil, o que se deu por meio da revisão da produção da Revista Brasileira de Climatologia como representante desta produção. Além disso, usando-se de um estudo empírico, definir um raio máximo de abrangência no qual os elementos de uso e ocupação do solo influenciam na temperatura do ar registrada de forma contínua pelo sensor, tendo como estudo de caso uma cidade média tropical no Brasil. Isso, partindo do

pressuposto que o espaço urbano das cidades brasileiras é muito heterogêneo[2] e os instrumentos e espaços para mensuração são acessíveis à pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Essa preocupação maior com não somente medir a temperatura urbana, mas também caracterizar qual tipo de ambiente urbano está sendo mensurando, é recente. Conceitos fluidos, como urbano e rural, abrangem diversos graus de urbanização que variam entre cidades, regiões e países. Na investigação de como historicamente essa preocupação com a caracterização dos pontos de coleta, dentro de um limite especificado, evoluiu na climatologia geográfica brasileira, foi analisado um conjunto de artigos sobre campos térmicos que se utilizaram de estações fixas ou transecto[3], publicados na Revista Brasileira de Climatologia. A revisão da literatura foi resumida no Quadro 1.

Analisando os trabalhos publicados pela Revista Brasileira de Climatologia desde sua primeira edição em 2005, até o ano de 2022, detectou-se que a preocupação em mensurar a temperatura do ar e caracterizar o ambiente urbano próximo de uma origem térmica, dentro de um limite pré-estabelecido, só aparece pela primeira vez em 2010, no trabalho de Lima, Danni-Oliveira e Pertschi (2010), para cidade de São José dos Pinhais, no Paraná. Posteriormente. volta a ser delimitado mais claramente em 2018, no trabalho de Sanches et al. (2018), para cidade de Uberaba - MG.

Contudo, após o ano de 2020, pesquisas nas quais uma área ao entorno do sensor é delimitada e o entendimento é de que a temperatura do ar coletada naquela área é reflexo do uso e ocupação do entorno, esse, limitado, podendo ser maior/menor que o bairro (unidade comumente utilizada), ficam mais recorrentes. Indicando um refinamento metodológico com o passar do tempo.

Muitos desses trabalhos se valeram das Zonas Climáticas Locais (ZCL ou LCZ em inglês) proposta por Stewart e Oke (2012), para classificar os pontos de coleta dentro de um raio delimitado. Apesar da metodologia ser de 2012, somente agora ganha maior ressonância

[2] Se comparado ao espaço urbano bem consolidado e mais homogêneo dos países desenvolvidos no qual Oke (2017), por exemplo, desenvolve seus trabalhos.

[3] Incluiu-se também trabalhos que utilizaram de transectos desde que para cada ponto do mesmo tenha sido feito uma caracterização do entorno do ponto de coleta dentro de um raio especificado

no Brasil e começa a ser uma tendência a utilização da mesma, a fim de padronizar a classificação do uso e ocupação dos pontos urbanos, permitindo comparações entre os trabalhos de forma mais adequada. Contudo, a mesma não leva em consideração outros aspectos do sítio urbano, como relevo e hidrografia, que também exercem influência na temperatura do ar urbano e devem ser registrados. (OKE et al., 2017)

Diversos trabalhos fizeram essa caracterização do uso e ocupação de forma bastante detalhada utilizando ZCL, são áreas que podem ser consideradas homogêneas em escala local, ou não. Contudo, em relação ao tamanho da área de origem térmica, nos trabalhos analisados, essa variou de 50m a 500m e foram utilizados equipamentos a uma altura de 1,5m.

Para Oke (2008), dado essa escala e altura do equipamento

> "A distância de influência dos sensores ao nível das janelas (aproximadamente 1,5 m) pode ser de um algumas dezenas de metros em condições neutras, menos quando eles são instáveis e talvez mais de 100 m quando eles estiverem estáveis." (OKE, 2008, p. II.11-4).

Essa é uma lacuna existente na literatura brasileira e que outros autores, como Santos (2020, p.250), por exemplo, também já se depararam "Não foi verificado na literatura consultada nenhuma definição exata do raio a ser delimitado e mapeado ao redor do ponto de coleta, mas, apenas a necessidade de caracterização dos seus arredores imediatos". Por isso esse trabalho faz uma experimentação com dados empíricos, realizando um comparativo entre o tamanho do raio e a temperatura do ar e indicando uma possibilidade de referência, tendo em vista o padrão de construtivo e urbanístico brasileiro em cidades de clima tropical.

O Quadro 1 apresenta a síntese dos trabalhos referentes aos estudos sobre ilha de calor e seus raios de ação direta publicados na Revista Brasileira de Climatologia, no período de 2005 a 2022.

Quadro 1- Revisão bibliográfica dos estudos sobre ilha de calor urbana publicados na Revista Brasileira de Climatologia de 2005 a 2022

Autores	Título	Ano	Raio	Resumo
ARAÚJO, L. F. et. al.	A variação espacial da ilha de calor e sua associação com as características paisagísticas em Sinop-MT	2022	100m	Analisou as ilhas de calor em Sinop – MT, em ambiente intraurbano com diferentes características e no entorno rural composto de plantações. Neste trabalho foi realizado um transecto móvel em que cada ponto foi classificado no método de ZCL. Analisou-se como cada classe de paisagem se comportou termicamente. Como esperado, a Classe LCZ 3, área muito densamente ocupada, apresentou as maiores temperaturas.
MASIERO, E. et. al.	Morfologia urbana e modelos de previsão de fenômenos microclimáticos em contexto atmosférico seco	2022	200m	Os autores elaboraram um modelo microclimático para quatro ZCL na cidade de São José do Rio Preto-SP. Utilizou-se como parâmetros: FVC, H/W, superfície edificada, impermeável e rugosidade. Os resultados obtidos mostraram que a LCZ 5, com padrão de edificações de média altura, mais quente que o padrão LCZ 1, de grandes cânions. Portanto a LCZ5 deveria receber elementos mitigadores do aquecimento do ar, como vegetação viária.
TEIXEIRA, D. C. F; AMORIM, M. C. C.	Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica em cidades de pequeno porte: análise simultânea a partir das zonas climáticas locais (LCZs)	2022	300m	Neste trabalho foram analisadas ilhas de calor nos municípios de Presidente Venceslau e Santo Anastácio em São Paulo, utilizando a classificação de ZCL. As duas cidades possuem feições similares classificadas como LCZ 9BD: edificações compactas de baixa elevação com vegetação espaçada. Porém, as mesmas apresentaram anomalias térmicas de intensidade, frequência e duração diferentes, sendo a ilha de calor noturna (entre 0,1 e 4°C). Pois o fenômeno, além das feições urbanas, está condicionado também a características geomorfométricas e da geometria solar que lhes dão uma individualidade climática.
CHEGURY, J. Q. B.; JUSTI, A. C. A.	Avaliação microclimática, termo higrométrica e das ilhas de calor na cidade de Cuiabá-MT/Brasil	2022	200m	Esse trabalho avaliou as condições termo-higrométricas e de ilhas de calor em Cuiabá-MT. Foi utilizado um transecto móvel e para cada um dos dezesseis pontos foi feita uma análise de uso e ocupação. O trabalho conseguiu validar uma relação entre condições termo-higrométricas e a forma de ocupação do solo urbano. Foram encontradas diferenças térmicas de até 4,38 °C.
PEREIRA, C. T.; BOURSCHEID, V.; MASIERO, E.	Seasonal variation of canopy layer heat island at distinct local climate zones in a tropical coastal city	2021	500m	Avaliou as características sazonais da ilha de Calor na cidade de Santos-SP. Chegaram à conclusão que no período noturno o fenômeno é mais intenso em áreas com edifícios altos e compactos (LCZ1), devido ao cânion urbano. Durante o dia a maior intensidade se dá em edifícios baixos e compactos (LCZ3). As fortes variações dos valores durante o dia estão relacionadas à exposição solar, sombreamento e vegetação de cada área. A estação seca apresentou maior intensidade de ilha de calor do que a estação quente.
CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T.	Propriedades da superfície e variáveis climáticas para modelagem de zonas climáticas locais em Presidente Prudente.	2021	200m	Os autores executaram uma caracterização de zonas climáticas locais (LCZs) em Presidente Prudente-SP. Os resultados apontaram diferenças maiores que 6°C entre as áreas de LCZ 3, de edificações compactas e baixas, e a LCZ B de vegetação arbórea esparsa.
VIANNA, Y.C.G; PIMENTEL, F.O; FERREIRA, C.C.M.	Modelagem e identificação de campos térmicos em Ubá – MG	2020	100m	Os autores aplicaram a modelagem do potencial térmico para investigar campos térmicos em Ubá-MG e compararam os dados com registros coletados em campo para validar o modelo. O resultado mostrou uma forte correlação entre o modelo e os dados.
RIBEIRO, K. F. A. et al.	Análise do índice UTCI em diferentes tipos de cobertura na cidade de Cuiabá, Mato Grosso.	2021	100m	Nesse trabalho os autores avaliaram o conforto térmico de ambientes externos através do índice UTCI.
SANTOS, J. G. R.	Variação higrotérmica urbana de Goiânia/GO em um mês de calor intenso.	2020	300m	Nesse trabalho o autor fez um comparativo entre diferentes Zonas Climáticas Urbanas e seu comportamento higrotérmico durante um mês de intenso calor em Goiânia. O resultado obtido foi condizente com a bibliografia sobre o assunto, com maior aquecimento em áreas densamente urbanizadas e ausente de sombreamento arbóreo.
ROCHA, G. S. MENDONÇA, F. A.; DUBREUIL, V.	A estabilidade atmosférica e a ilha de calor urbana na área conurbada de Florianópolis-SC.	2020	500m	Neste estudo os autores se dedicaram a caracterizar a ilha de calor urbana (ICU) na área de Florianópolis-SC. Aplicaram o modelo Pasquill-Gifford-Turner para conhecer o grau de estabilidade atmosférica. Estudo apontou que em dias de maior estabilidade se tem a maior intensidade da ICU.
SANCHES, F.O et al.	Contribuição ao estudo do clima urbano em Uberaba (MG).	2018	100m	O trabalho identificou a formação de ilhas de calor em Uberaba-MG. Através de 4 pontos representativos com temperatura do ar variando de acordo com o uso e ocupação do solo. Os resultados dos testes de ANOVA e Tukey que comprovam estatisticamente que as temperaturas do centro da cidade e do bairro que apresenta alto grau de urbanização são superiores aos pontos mais vegetados da estação do INMET e do aeroporto local.
LIMA, C.A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.; PERTSCHI, S. C.	Considerações sobre a metodologia a respeito da alteração da temperatura do ar no ambiente urbano: estudo em São José dos Pinhais/PR.	2010	125mOu 56m	Nesse trabalho os autores relacionaram temperatura do ar e uso do solo na área urbana de São José dos Pinhais no Paraná. Através da regressão linear correlacionaram atributos urbanos e temperatura do ar.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse trabalho partiu-se dos dados coletados em campo para definir qual a área de influência do equipamento. Em consorcio com Oke e Stewart (2012) foi definida uma área circular, dado que durante um período longo de coleta de dados a área tende a ser um círculo disforme[4]. Isso, devido a diversos sistemas atmosféricos que se fazem atuantes, alterando a estabilidade do tempo e o vento de escala regional que se manifesta em diferentes direções. Especificamente, fazemos um recorte dos dados para o período de atuação da Massa Tropical Atlântica, que tem como característica grande radiação solar, baixa nebulosidade e ventos fracos, que favorecem a intensidade das ilhas de calor.

Os locais a serem escolhidos para a coleta de dados, conforme recomendado por Gartland (2010), devem ser representativos das práticas construtivas típicas do ambiente urbano em análise, e, na zona rural, representar da melhor maneira a forma do uso rural. Oke (2004) recomenda que a altura do equipamento seja de 1,25 a 2 m acima do solo para locais urbanos. Nesse trabalho foram instalados oito (8) pontos de coleta de dados, sete no ambiente (7) urbano e um (1) na zona rural circundante da cidade de Ubá.

A cidade de Ubá está localizada na Zona da Mata em Minas Gerais (Figura 1). A Zona da Mata tem por características os Mares de Morros, como denominado por Ab'Sáber (2005). O relevo apresenta a forma de "meia laranjas", originalmente coberto por mata atlântica. Na mancha urbana de Ubá tais formas variam de 280m, no fundo do vale, a 566m[5] nos topos de morro. Atualmente, predomina uma paisagem desnuda de pastagens e poucos resquícios de mata, que se regeneraram após o plantio de café e depois fumo, o que alterou o quadro natural por completo. Na área urbana, esses resquícios de mata estão localizados principalmente em encostas com alta declividade, o que dificulta a ocupação.

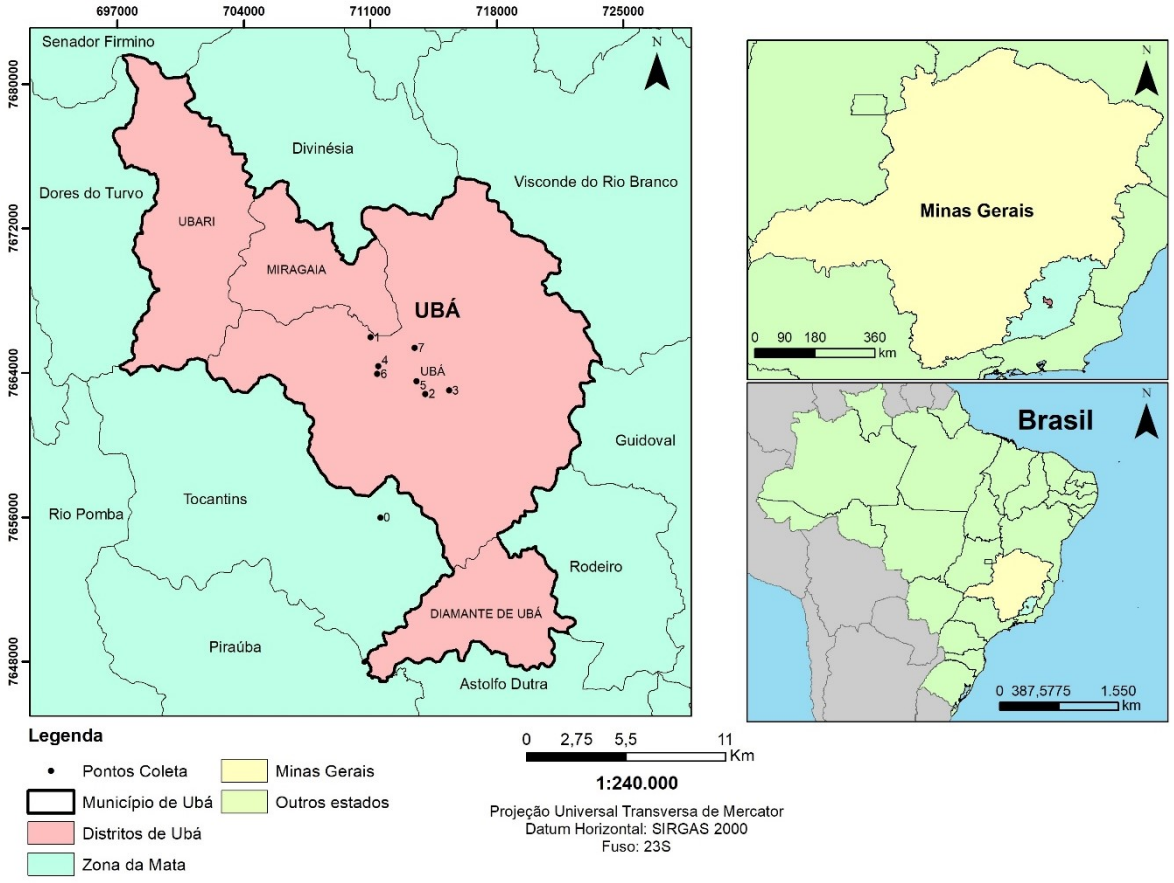
A principal atividade econômica do município é a indústria moveleira, o que explica que a quase totalidade dos seus 101.519 habitantes vivam na zona urbana (IBGE, 2022). Esta indústria se encontra dispersa em centenas de pequenas e médias empresas pela cidade. A ocupação urbana inicialmente se deu ao longo do vale do Ribeirão Ubá, com o crescimento

[4] Em curtos períodos, como de uma hora, a área teria uma forma elíptica orientada na direção contrária ao vento (OKE E STEWART, 2018). Esse período de predominância de uma direção poderia ser até de alguns dias com base na observação de dados de estações meteorológicas oficiais da região.

[5] Conforme visto no mapa de altitudes apresentado no trabalho de Vianna (2018)

urbano acelerado proporcionado pela indústria, avançou pelas meia encostas e topos de morro ANDRADE (1961). Do ponto de vista climático, Ubá apresenta duas estações bem características: a primavera/verão quente e chuvosa e o outono/inverno seco e com temperaturas amenas.

Figura 1- Localização do município de Ubá – MG



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

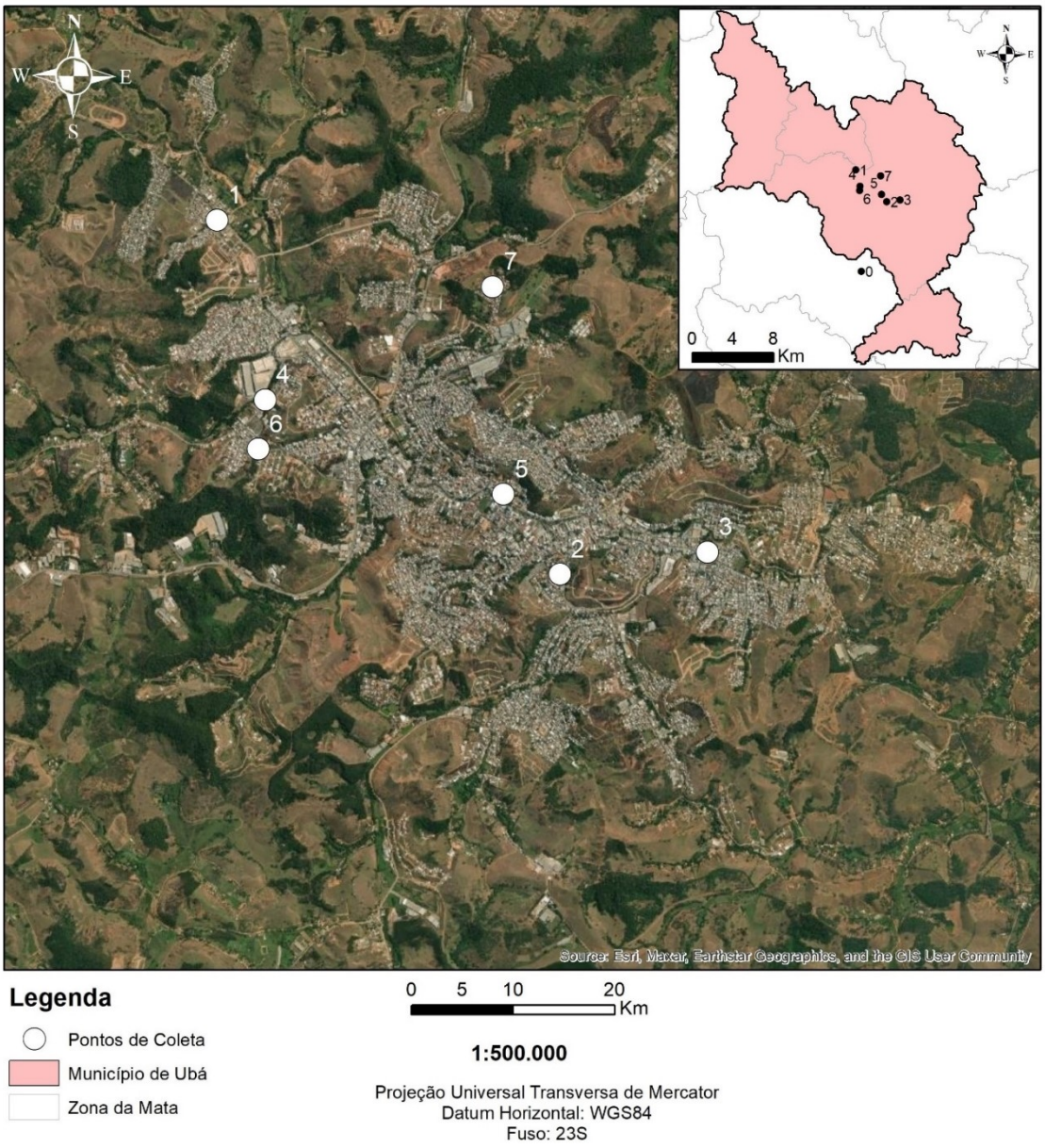
A localização dos pontos de registro buscou representar as diferentes características de usos e ocupações do espaço urbano identificados a partir do sensoriamento remoto, tendo como guia as diferentes temperaturas de superfície, o uso e ocupação, densidade de edificações, proximidade de áreas verdes, concentração de galpões industriais, cursos d'água e relevo. Foi levado em consideração na escolha que os pontos fossem distribuídos também ao longo da mancha urbana, conforme pode ser observado no Figura 2. Contudo, as escolhas foram limitadas pela disponibilidade de locais seguros para deixar o equipamento.

O ponto 1 (FVC de 0, 50) está localizado no bairro Antonina Coelho, onde predomina o uso residencial adensado, com casas de um ou dois pavimentos, entretanto, como é comum na cidade, possui a presença de alguns galpões da indústria moveleira ou comerciais. Seu

percentual de área impermeabilizada dentro do raio de 100m é de 84,1%, com o predomínio de uso de telhados metálicos (quase 40% do total) não somente nos edifícios industriais, mas também nos residenciais. Pode ser classificada como uma LCZ 3_8 *Compact lowrise with Large low-rise*.

O ponto 2 (FVC de 0, 60) localiza-se no centro de Ubá em uma área exclusivamente residencial, nas bordas da região central. Se caracteriza também pelo predomínio de casas de um ou dois pavimentos, possuindo algumas poucas edificações com mais de quatro pavimentos. Seu percentil de área impermeabilizada é de 65,5%, com predomínio de telhados cerâmicos. Possui lotes vagos, esses, cobertos por vegetação rasteira e em menor quantidade cobertura arbórea. A Zona Climática poderia ser classificada como LCZ 3_A Compact *lowrise with Dense trees.*

Figura 2- Pontos de coleta distribuídos na macha urbana



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

O ponto 3 (FVC de 0, 78) localiza-se no bairro Industrial, com uso misto entre residências e galpões industriais. Grande parte da área no entorno do ponto de coleta é pertencente a uma propriedade com baixíssima ocupação, possuindo uma grande área livre gramada e parte ocupada com vegetação arbórea, sendo seu o terreno contornado por um córrego com mata ciliar preservada. Seu percentil de área impermeabilizada é de 60,4%, predominando o uso de lajes de concreto nas edificações. Essa é uma área com dificuldade de classificação pela heterogeneidade de ocupação, mas poderia ser classificada como LCZ 3_B

Compact midrise with with Scattered trees por possuir essa grande propriedade com bastante vegetação.

O ponto 4 (FVC de 0,43) fica no local conhecido como Vila da Itatiaia, nome que vem da fábrica de móveis Itatiaia, a maior produtora de móveis da cidade. A fábrica localiza-se, ao norte do ponto, ocupando parte da área dese. Mais ao centro do ponto estão as moradias que originalmente eram de funcionários da empresa. A fábrica fica em um ponto mais elevado, cercado de vegetação. Seu percentil de área impermeabilizada é de 67,7%, classificada como LCZ 8_3 Large low-rise with Compact low-rise. Por causa das fábricas ao entorno predomina-se o uso de telhados metálicos e de cerâmicas na vila de casas.

O ponto 5 (FVC de 0, 80) representa a área central da cidade, próximo ao ribeirão Ubá, principal curso d'água da região. Nessa área predomina o uso residencial e comercial. As casas são de alto padrão, com lotes maiores. É a área da cidade com maior verticalização, possuindo alguns edifícios acima de 4 pavimentos. O percentil de área construída é 94,6%, com grande predomínio de telhados cerâmicos, em torno de 67%, evidenciando maior poder aquisitivo dos moradores. LCZ 3_2 Compact lowrise with Compact midrise.

O ponto 6 (FVC de 0,99) fica numa área de ocupação mais recente da cidade, no bairro Vale do Ipê. A área apresenta lotes vagos gramados e solo exposto. A área é exclusivamente residencial, não havendo galpões industriais, com lotes pequenos e grande número de residências. Seu percentil de área construída é 49,9%, predominando telhas metálicas. Esse ponto fica numa área de topo de morro com altitude de 50m a mais em relação aos outros localizados mais no fundo do vale, sofrendo mais efeitos da ventilação urbana. LCZ 3_D Compact lowrise with low plants.

O ponto 7 (FVC de 0,48) é localizado no bairro do Xangrilá, originalmente um loteamento popular. As moradias inicialmente eram idênticas, com o tempo, sofreram algumas alterações e expansões. Contudo, na maioria ainda predominam as telhas cerâmicas escuras. Os lotes menores têm uma grande taxa de ocupação da superfície com área impermeável de 92,4%. Esse ponto é uma área mais alta que outros pontos, contudo em meia encosta. LCZ 3 Compact lowrise.

O Ponto 0 (FVC de 0, 77) é o ponto de referência no entorno rural, sendo uma área não afetada pela urbanização. Possuí apenas 0,7% de sua área construída, sendo representativo dos arredores rurais da região que mesclam pastagens e resquícios de matas

secundárias que se desenvolveram após a cultura do café e fumo na região. LCZ B Scattered trees.

O período de coleta dos dados foi de 17 de janeiro ao dia 28 de fevereiro no verão de 2018, totalizando 43 dias. Para a coleta dos dados de temperatura do ar urbano foram utilizados termômetros com data logger da marca Hobo, modelo UA-001-64. Esse foi protegido por uma estrutura isolante de isopor e colocado a 1,25 m do solo. Foram utilizados apenas os dados noturnos, pois os dados diurnos sofreram muita interferência de sombreamento diverso entre os pontos, gerando muito ruído para as análises. Além disso, conforme Oke (2017) a essência do efeito da ilha de calor é noturna, pois durante o dia as temperaturas máximas entre o ambiente rural e urbano são semelhantes, mas a mínima rural noturna é significativamente inferior, dado as diferenças nas taxas de aquecimento e resfriamento urbanos.

O uso e ocupação de uma área pode ser considerado o fator mais importante para determinação da temperatura do ar no ambiente urbano em relação a seu entorno, onde predominam, no caso de Ubá, as pastagens. De modo a simplificar, os diferentes usos foram divididos em apenas duas classes, semelhantes ao trabalho de Galusic e Dornelles (2021): área impermeável e área permeável[6]. Apesar de outros fatores, como o fator de visão do céu (FVC), serem significantes para o "aprisionamento" do calor nos cânions urbanos, ele é invariável, conforme o raio, o que não contribui para a construção de uma referência para a área de origem térmica.[7]

Para tentar determinar qual o tamanho da área de influência captada pelo sensor, correlacionamos a temperatura do ar noturno com apenas a área impermeabilizada por construções ou pavimentos em torno do ponto de observação.

Com essa simplificação de apenas uma variável explicativa da temperatura do ar, variamos a área de abrangência do sensor, buscando identificar qual o melhor ajuste da variável área construída e dados de temperatura do ar coletados.

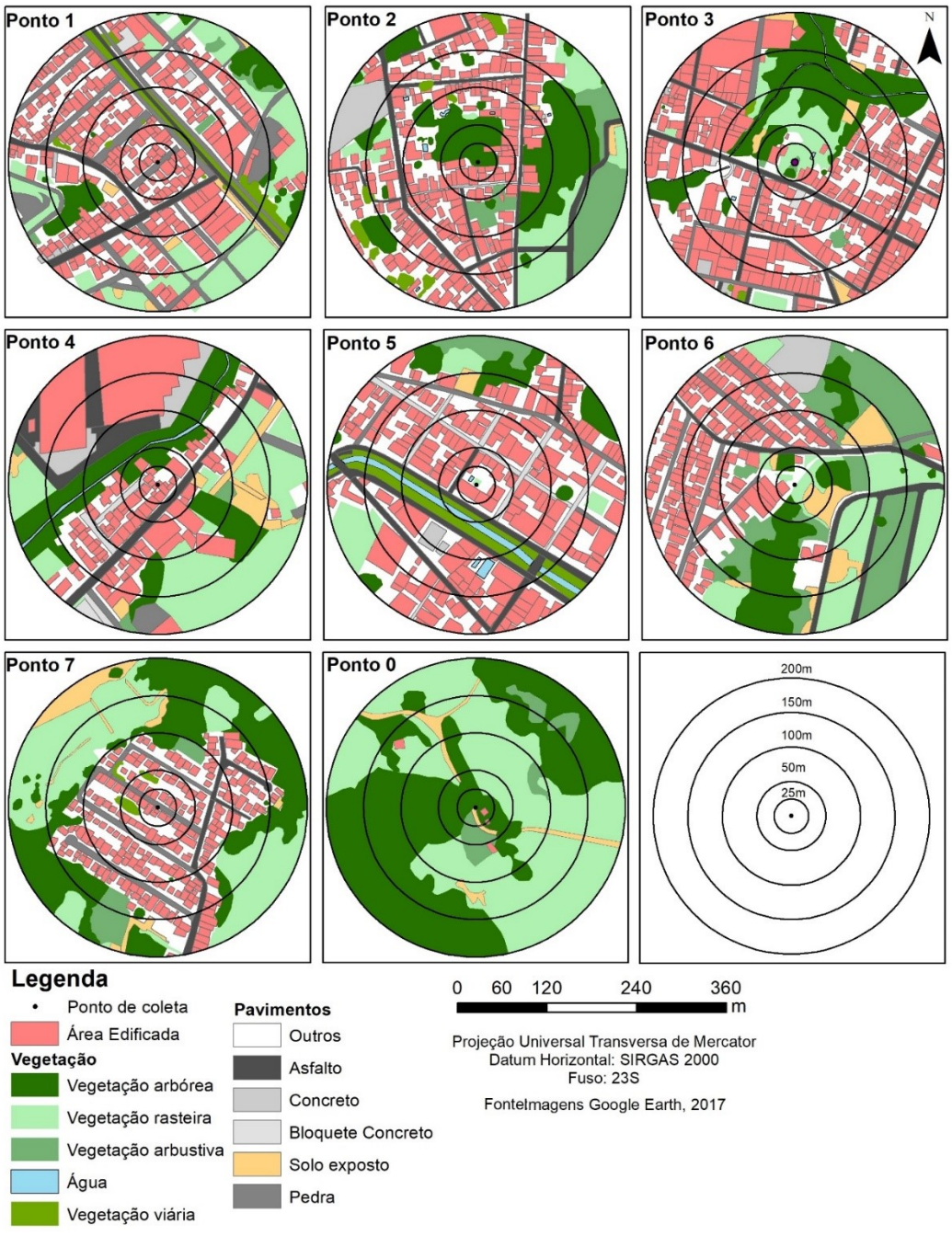
Para essa análise foram utilizados buffers de 25m, 50m, 100m, 150m e 200m em torno do sensor de temperatura do ar. As características de uso e ocupação do ponto estão na Figura 3. Buffers menores deveriam ser mais adequados para áreas mais adensadas, com

[6] Área permeável em quase sua totalidade representa áreas com vegetação rasteira e/ou arbórea

[7] Quando correlacionado o FVC dos pontos com as temperaturas (Máximas e Médias do período) a correlação medida pelo R^2 foi próxima de 0,3.

prédios maiores e mais próximos, em áreas mais espaçadas seriam mais adequados buffers maiores. É possível também que uma rede de cânions urbanos canalize o ar de pontos mais distantes até o local de medição (STEWART; OKE, 2012). Mas como complexo urbano apresenta diversas configurações, busca-se um único valor para todo ambiente urbano de referência para clima tropical em uma cidade na transição de pequena para média, onde predominam prédios menores, galpões e casas.

Figura 3– Uso e ocupação dos pontos com diversos raios.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

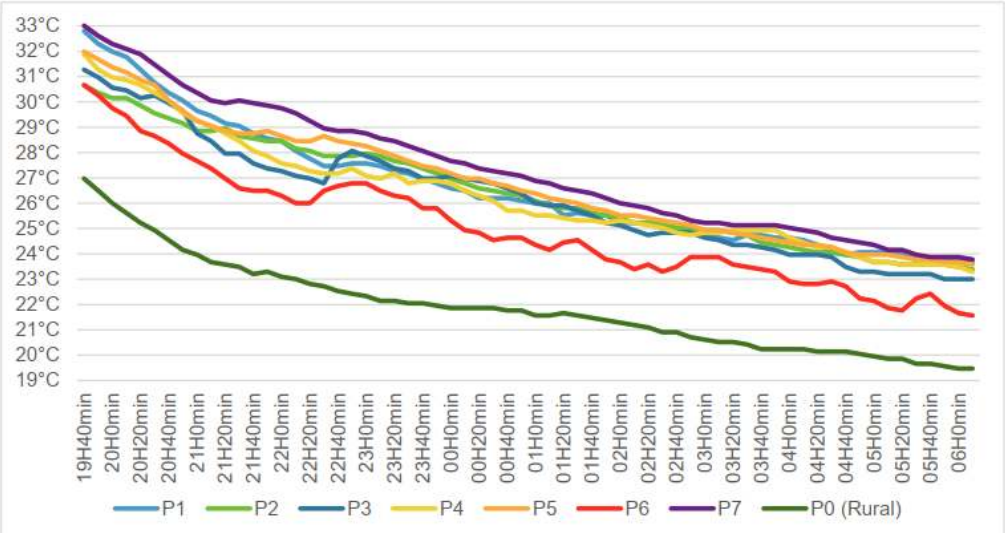
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sobre o comportamento térmico dos pontos urbanos durante o período de análise do total de 42 noites o ponto 1, que se caracteriza por ser um bairro residencial com grande adensamento e impermeabilização, registrou as maiores temperaturas do ar em 57% das noites, tendo uma temperatura máxima média em relação ao ponto rural superior a 4°C.

O ponto 7, que é um loteamento popular com altíssima impermeabilização, registrou uma média das máximas em relação ao ponto rural superior a 3,6°C seguidos pelo P6, P4, P3, P2 e P0 (rural de referência). As maiores médias de aquecimento sob condições de atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa) foram no Ponto 7, seguido por P1, P5, P4, P2, P3 e P6. Os pontos mais frios são os pontos P0 (rural), P6, P2 e P3, com menores índices de impermeabilidade no solo, respectivamente com: 0,7%, 49,9%, 65,5% e 60,4%. Resultado similar ao encontrado por Galusic e Dornelles (2021).

Na Figura 4 verifica-se a variação da temperatura noturna entre todos os pontos durante uma noite de atuação da mTa, que se caracteriza por uma condição de tempo de céu sem nuvens e com poucos ventos, o que favorece a formação das ilhas de calor. Observa-se uma diferença significativa de temperatura do ar entre os pontos urbanos e rural. Essa diferença ao anoitecer é entre 6°C no ponto 7, o ponto mais quente, e de aproximadamente 4°C no ponto urbano mais frio, ponto 6. Essa é uma noite representativa, pois em todos os dias em que esse sistema atmosférico atuou, o comportamento térmico nos pontos foi semelhante.

Figura 4 – Variação da temperatura do ar – 20 de janeiro de 2018



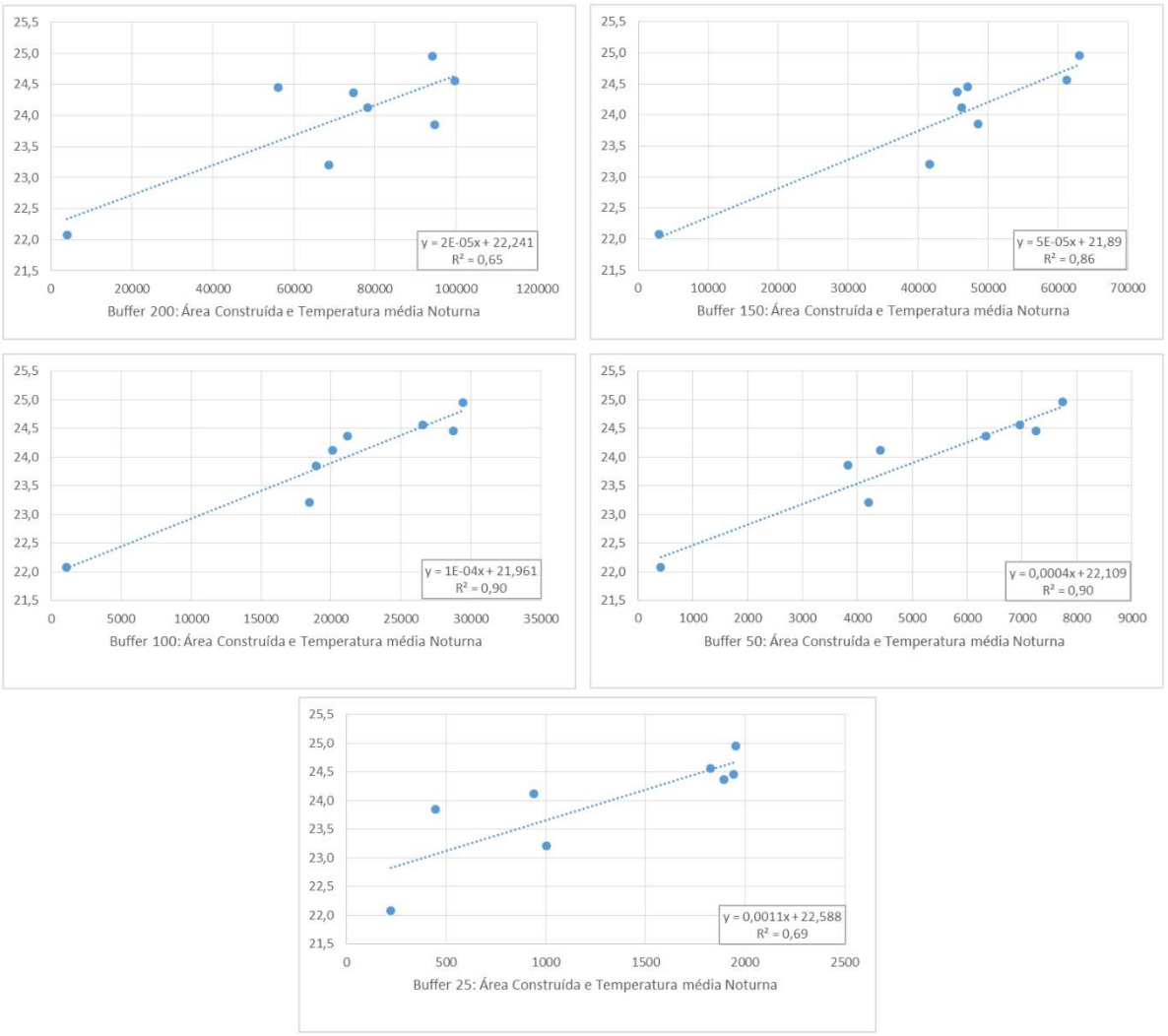
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A diferença mínima entre o ambiente urbano e rural ocorre às 5h20min da manhã entre o ponto 6 e ponto 0 (rural). As menores temperaturas registradas no ponto 6 estão ligadas a sua localização, por de ser um topo de morro onde as diferenças no comportamento térmico são explicadas em função do vento exercer um papel fundamental de resfriamento, conforme Jardim e Ferreira (2005).

Mais especificamente sobre a relação entre a temperatura dos pontos, a área impermeável e o tamanho da área de origem térmica adequada, realizaram-se três testes.

O primeiro teste foi correlacionado à área construída, em metros quadrados, com a temperatura média do ar noturno durante todo o período de coleta de 43 dias. Os resultados podem ser vistos na Figura 5.

Figura 5 - Correlação entre área construída e temperatura média noturna do ar



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Ao analisar os gráficos, identifica-se que a escolha da variável de impermeabilização como forma simplificada de representar todo o complexo urbano apresentou-se como uma escolha ajustada, pois ela sozinha consegue demonstrar uma altíssima correlação com a temperatura do ar, no pior cenário de 65% de explicação entre a relação do ar urbano e a área impermeabilizada, e de 90% no melhor cenário. Resultados semelhantes aos obtidos por Galusic e Dornelles (2021), que mostraram uma tendência ao crescimento da temperatura média em pontos com altos índices de impermeabilidade.

Verifica-se que para áreas de origem térmica muito grandes, como um círculo com raio de 200m em torno do ponto de coleta dos dados, a correlação entre a área construída e a temperatura do ar registrada pelo sensor tem uma correlação mais baixa (R^2=0,65) do que em buffers menores, com uma área de origem térmica entre 50m e 100m, onde o R^2=0,90

(de 90%), ou seja, altíssimo. Esse valor de R^2 mostra forte relação entre a área construída e, consequentemente, a área vegetada e a temperatura do ar.

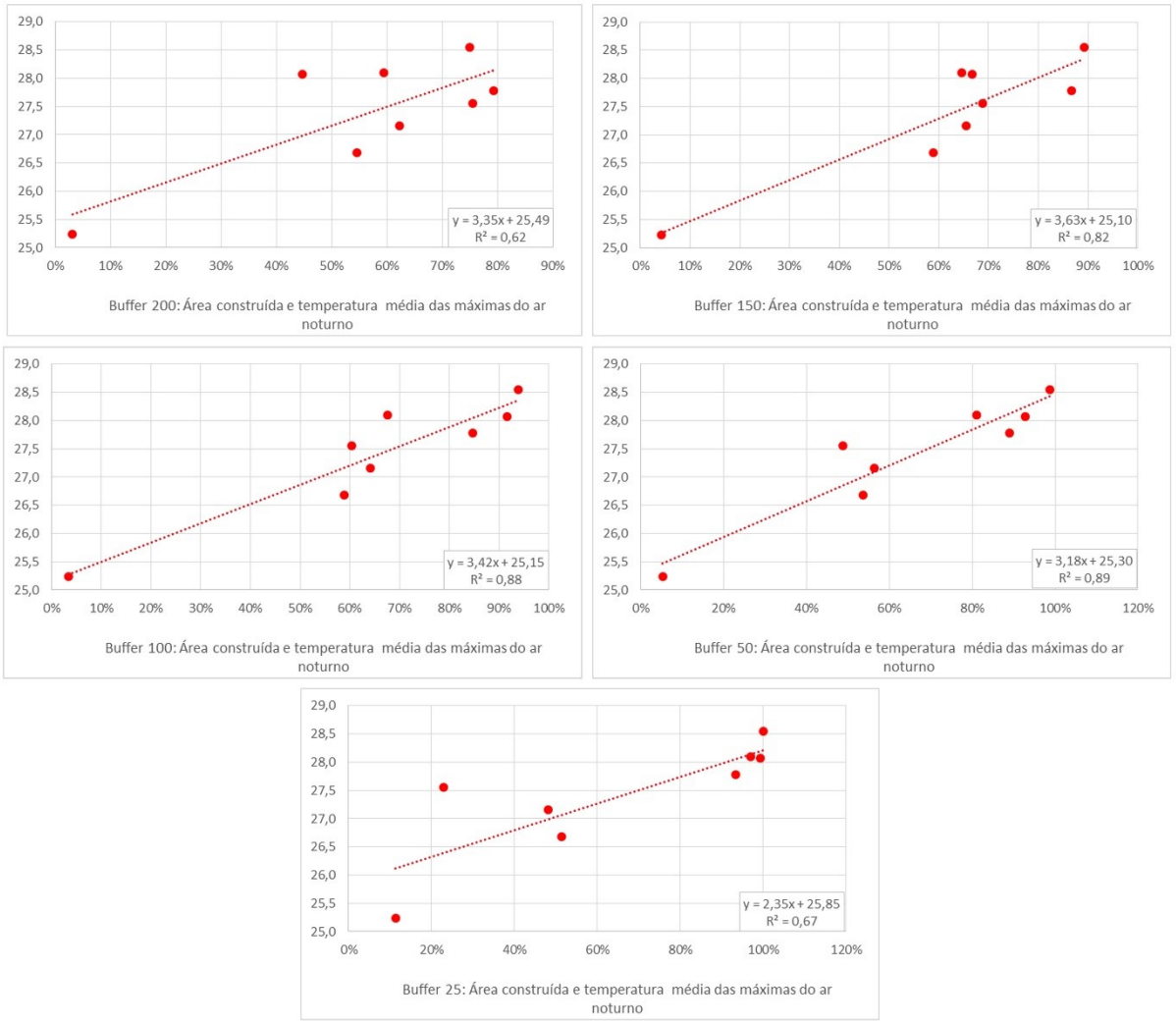
Na mesma medida, quando reduzimos muito a área de origem térmica para um buffer com raio de 25m, a área de entorno imediato do ponto de coleta não representa bem a temperatura do ar e com isso apresent uma piora no ajuste com R2 de apenas 0,69.

Esses gráficos (Figura 5) indicam que as características da área de superfície aquecida, que por turbulência influencia a temperatura do ar registrado pelo sensor, é algo entre 50m e 100m. Essa ideia fica muito clara ao analisarmos o ponto 7 (Figura 3), acima do raio de 100 m ele possuí uma maior área de vegetação, entretanto, essa não parece refletir na temperatura lida pelo sensor, indicando que a área de origem térmica ou de influência não é maior que 100m.

Na Figura 6 foram relacionadas médias das máximas de todo período de coleta com os percentuais das áreas impermeabilizadas. Em cada gráfico variou-se novamente o tamanho da área de origem térmica lida pelo sensor.

Os resultados encontrados são similares aos relatados anteriormente. Um raio de apenas 25m em torno do ponto de coleta tem um ajuste mensurado por um R^2=0,67. Ao aumentarmos esse raio para 50m o ajuste do R^2 sobe para 0,89. Nesse caso, com raio de 100m o coeficiente de ajustamento é quase idêntico a 0,88. Ao ampliar para 150m e 200m a piora no ajuste é mais significante, caindo para 0,82 e 0,62 respectivamente.

Figura 6 - Correlação entre percentual de área impermeabilizada e a temperatura média das máximas do ar noturnas



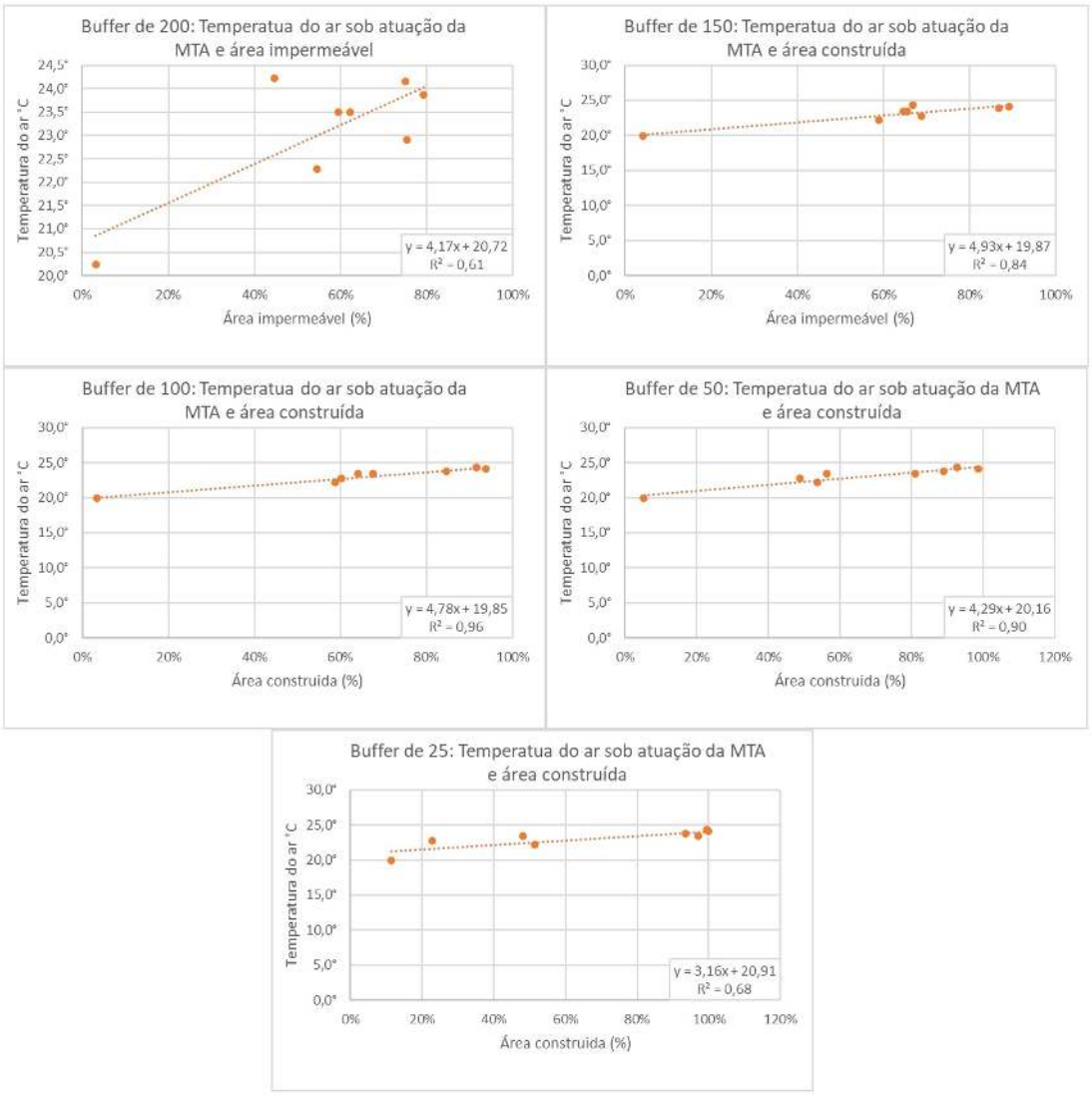
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Foi realizado um recorte utilizando apenas os dados de dias sob atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa), pois nesses dias são detectadas as condições ideais para formação de ilhas de calor: alta radiação solar, baixa nebulosidade e poucos ventos. Durante o período de coleta dos dados a mTa atuou por 10 dias.

A Figura 7 exibe a correlação entre as temperaturas do ar noturnas apenas sob atuação da mTa e o percentual de área impermeabilizada. As mesmas características apresentadas anteriormente se repetiram aqui, evidenciando que uma área de origem térmica se torna mais representativa nos dados tendo entre 50m e 100m. Nesse cenário de estabilidade atmosférica (das condições do tempo) o raio de 100m se tornou ainda mais ajustado com um R^2 de 96%, efeito que creditamos ao pouco vento. Isso significa uma quase

perfeita correlação entre a área impermeável e a temperatura do ar e o ajustamento de um raio de 100m com referente na origem térmica.

Figura 7 - Correlação entre temperaturas do ar noturnas em dias de atuação da mTa e o percentual de área impermeabilizada.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na Tabela 1 observa-se a relação entre o raio e o tamanho da área do círculo. Ao aumentar-se o raio em torno de um ponto de coleta gera-se um aumento da área de abrangência, porém não em termos de um crescimento linear (proporcional) e sim quadrático em relação a variação da dimensão do raio. Um raio de 100m ao ser ampliado para 200m, ou seja, ao duplicar-se o raio, gera um aumento na área do círculo em torno do ponto de coleta de quatro vezes, ou seja, 300%. Um novo aumento do raio de 200m para 300m (um aumento

de 50%) gera uma ampliação de área de 125%. Em relação ao raio de 100m, um raio de 300m gera um aumento na área de origem térmica de 800%, ou seja, sete vezes maior.

Tabela 1 – Relação entre o tamanho do raio e o tamanho da área do círculo

Raio (m)	Área (m^2)	Variação do raio em relação ao raio anterior	Variação da área em relação ao raio anterior	Variação do raio em relação ao raio de 100m	Variação da área em relação ao raio 100m
25	1.963	-	-	-75%	-94%
50	7.854	100%	300%	-50%	-75%
100	31.416	100%	300%	-	-
150	70.686	50%	125%	50%	125%
200	125.664	33%	78%	100%	300%
300	282.743	50%	125%	200%	800%
500	785.398	67%	178%	400%	2400%

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Por isso, raios muito grandes, acima de 300m, dificilmente serão adequados, principalmente em áreas urbanas com relevos mais ondulados, como se pode analisar nos pontos de coleta, na Figura 3. Por exemplo, a medida que se expande os raios dos pontos 1, 5 e 7, sua área densamente ocupada começa a apresentar alguns vazios, de lotes vagos com vegetação rasteira, sendo essas áreas de especulação imobiliária ou áreas com pequenos resquícios de mata, de difícil ocupação dado ao relevo com altas declividades. Ou seja, perde-se a homogeneidade dos elementos da paisagem urbana, apresentando outras características de relevo, altimetria, hidrografia, de vegetação, de densidade populacional, de fluxo de veículos, de vias, de tipos de edificações etc., essas com comportamento térmico diferenciado no entorno próximo ao ponto de coleta. Isso está de acordo OKE et al (2017), sobre como em áreas mais abertas e com edificações baixas os raios podem incorporar uma uma ampla gama de estruturas e superfícies tipos de cobertura.

Em decorrência da distância em relação ao ponto de coleta, esses novos elementos, com formas, dimensões e disposição espacial diversos, se tornam uma barreira à livre circulação dos ventos, que transporta calor e resfria superfícies, gerando uma circulação do vento alterada, uma vez que a rugosidade urbana reduz a velocidade do vento, devido ao aumento da turbulência e arrasto provocado pela fricção do ar com as superfícies urbanas

(OKE, 1987). Devido a essas barreiras, pelos resultados encontrados, os valores registrados pelo sensor de temperatura do ar são mais representativos na área do entorno mais imediato.

Uma ressalva é que em áreas muito homogêneas a adoção de um raio menor ou maior, em geral, vai manter quase inalterado o percentual de impermeabilização e das outras características urbanas, podendo ser representativo de uma escala maior como a Internal boundary Layer (IBL), que é a cama de ar que se desenvolve sobre a ZCL e que possui a mesma escala.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na literatura e nos resultados empíricos que se chegou nesse trabalho, dado os equipamentos comumente usados (com altura de 1,5m) para trabalhos em cidades brasileiras que tendem a ser bem heterogêneas (em aspectos do sítio e da urbanização), pode-se indicar que o tamanho da área de origem térmica adequada deve ter um raio de 100m ou 50m que possuam um excelente ajuste.

Para cidades pequenas e em transição para cidades médias, com características similares a Ubá-MG, que pode ser caracterizada por apresentar uma baixa verticalização das construções e com ruas com no máximo duas faixas, esse trabalho permite concluir que o raio ideal é de 100m para períodos de coleta em condições ideais (alta radiação solar, baixa nebulosidade e poucos ventos), que na Zona da Mata Mineira se dá sob atuação da Massa Tropical Atlântica.

Com base nesses resultados indica-se que quando os pontos de coleta são em sua maioria em ambientes urbanos mais fechados, onde temos cânions urbanos com uma relação H/W maior (relação entre altura das edificações e largura da via) e menor Fator de visão do céu (FVC), seja mais adequado o uso do raio de 50m.

Esse trabalho apurou que raios maiores que 150m são menos representativos da área de origem térmica, pois costumam também extrapolar uma área homogênea. Contudo, foram utilizados na maioria dos trabalhos de nossa revisão, e das publicações da Revista de Climatologia Brasileira, em sete (7), dos doze (12) trabalhos publicados, que delimitaram uma área de origem térmica.

Do mesmo modo, raios muito pequenos, como 25m, desconsideram o transporte do calor pelo vento de pontos um pouco mais afastados e que são registrados pelos

termômetros. Por isso, geram uma relação pouco representativa do uso e ocupação com a temperatura do ar.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. **Os domínios de natureza no Brasil**: Potencialidades paisagísticas. 3.ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2005.

AMORIM. M.C.C.T.; DUBREUIL, V. CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) – Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 16, p. 29-45, jan./jul. 2015.

ARAÚJO, L. F. et. al. A variação espacial da ilha de calor e sua associação com as características paisagísticas em Sinop-MT. **Revista Brasileira de Climatologia, Dourados**, MS, v. 31, Jul. /Dez. 2022

CARDOSO, R. S.; AMORIM, M. C. C. T. Propriedades da superfície e variáveis climáticas para modelagem de zonas climáticas locais em Presidente Prudente. **Revista Brasileira de Climatologia, Dourados**, MS, v. 28, Jan. /Jun. 2021

CHEGURY, J. Q. B.; JUSTI, A. C. A. Avaliação microclimática, termo higrométrica e das ilhas de calor na cidade de Cuiabá-MT/Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 30, Jan. / Jun. 2022.

GALUSIC, B. DORNELLES, K.A. Estudo da ilha de calor urbana em São Carlos/SP: como a permeabilidade dos revestimentos urbanos horizontais intervém nas variações da temperatura do ar. In: MIGLIORINI, J. M. (org.). **Arquitetura e Urbanismo: Planejando e Edificando Espaços 4**. Ponta Grossa: Athena Editora, 2021.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo: Oficinas de textos, 2010.

HOWARD, L. **The Climate of London**. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=7skTAAAAYAAJ&hl=pt-BR&pg=PP11>. Acesso em: 25 de julho de 2022.

IBGE. **Censo demográfico 1950/2010**. Disponível em: <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD77>. Acesso em: 20 set. 2022.

JARDIM, C. H.; FERREIRA, M. A correlação dos fatos geográficos em climatologia a partir da noção de "sítio" e situação. In: Encontro De Geógrafos Da América Latina, 10., 2005. **Anais eletrônicos**... São Paulo: USP, 2005. Disponível em: <http://observatóriogeografico americalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Climatoligia/06.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2017.

LIMA, C.A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M.; PERTSCHI, S. C. Considerações sobre a metodologia a respeito da alteração da temperatura do ar no ambiente urbano: estudo em São José dos Pinhais/PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, PR, v. 7, Set. 2010

MASIERO, E. et. al. Morfologia urbana e modelos de previsão de fenômenos microclimáticos em contexto atmosférico seco. **Revista Brasileira de Climatologia, Dourados**, MS, v. 31, Jul. /Dez. 2022

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: Noções básicas e climas do Brasil**.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

OKE, T.R. **Boundary layer climates**. 2 ed. Londres: Methuen & Co. Ltd, 1987.

OKE, T.R. Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites. 27th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Banff, 2004. Disponível em: <https://www.urban-climate.org/ITM04-Oke.pdf>. Acesso em: 20 maio de 2022.

OKE, T.R. Urban observations. in: **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**, Part II-Observing Systems, Capítulo 11, n.8. 7ª Edição. Genebra: World Meteorological Organization, II-11-1 – II-11–25, 2008.

OKE, T.R.; MILLS, G. CHRISTEN, A. VOOGT, J. A. **Urban Climates.** Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

PEREIRA, C. T.; BOURSCHEIDT, V.; MASIERO, E. Seasonal variation of canopy layer heat island at distinct local climate zones in a tropical coastal city. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 29, Jul. / Dez. 2021

RIBEIRO, K. F. A. et al. Análise do índice UTCI em diferentes tipos de cobertura na cidade de Cuiabá, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Climatologia, Dourados**, MS, v. 28, Jan. /Jun. 2021

ROCHA, G. S. MENDONÇA, F. A.; DUBREUIL, V. A estabilidade atmosférica e a ilha de calor urbana na área conurbada de Florianópolis-SC. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 27, Jul. / Dez. 2020

SANCHES, F.O et al. Contribuição ao estudo do clima urbano em Uberaba (MG). **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, PR, Dossiê Climatologia de Minas Gerais, Nov. 2018

SANTOS, J. G. R. Variação higrotérmica urbana de Goiânia/GO em um mês de calor intenso. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 27, Jul. / Dez. 2020

STEWART, I.D. OKE, T.R; Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v.93, n.12, p. 1879-1900, 2012.

TEIXEIRA, D. C. F; AMORIM, M. C. C. Intensidade, magnitude e evolução diária da ilha de calor atmosférica em cidades de pequeno porte: análise simultânea a partir das zonas climáticas locais (LCZs). **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 30, Jan. / Jun. 2022

VIANNA, Y.C.G; PIMENTEL, F.O; FERREIRA, C.C.M. Modelagem e identificação de campos térmicos em Ubá – MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, MS, v. 26, Jan. / Jun. 2020.