XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ESTUDO DO AQUECIMENTO URBANO COM MÉTODOS DE TRANSECTO MÓVEL E SENSORIAMENTO REMOTO

Daniela Werneck (1); Erondina Azevedo (2); Marta Romero (3)
(1) Arquiteta Urbanista, doutoranda do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, daniela.werneck@gmail.com, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Brasília – DF.
(2) PHD em Física, professora do Departamento de Física, erondinaazevedo@gmail.com, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Brasília – DF.
(3) Arquiteta Urbanista, professora titular da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, romero@unb.br, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Brasília – DF.

Resumo
O Brasil assumiu um compromisso voluntário de reduzir as emissões de gases do efeito estufa, como parte da Política Nacional sobre Mudança do Clima, mas ainda faltam medidas de adaptação e mitigação para as áreas urbanas. Neste contexto, o presente estudo visa explorar o ambiente térmico urbano de Brasília, Brasil. A cidade foi inaugurada em 1960 e seu Plano Piloto é um Patrimônio Mundial da UNESCO projetado por Lucio Costa baseado nos princípios do movimento modernista. O método de pesquisa consistiu em visitas in loco, transecto móvel e imagens térmicas usadas para observar o aquecimento de áreas urbanas no Plano Piloto: com o mesmo tipo construído de arranjo físico (LCZ 5). Durante o período de observação, os resultados sugeriram que os valores das temperaturas são fortemente dependentes da radiação solar direta e dos materiais urbanos e da presença ou ausência de sombreamento. A temperatura do ar na superfície próxima atingiu cerca de 4 ° C no período da manhã e da tarde. Os métodos também enfatizam sua aplicabilidade nas políticas de consolidação urbana, onde o papel do espaço aberto deve ser evidenciado para mitigar os efeitos negativos do aquecimento urbano.
Palavras-chave: transecto móvel, construção de abrigos meteorológicos, clima urbano, Brasília.

ABSTRACT
Brazil has undertaken a voluntary commitment to reduce emissions, as part of the National Policy on Climate Change, but adaptation and mitigation measures for urban areas are still lacking. In this context, the present study aims to explore the urban thermal environment of Brasilia, Brazil. The city was inaugurated in 1960 and its Pilot Plan is an UNESCO World Heritage site designed by Lucio Costa based on principles of modernist movement. The research method consisted of on-site visits, automobile traverses and thermal imaging used to compare urban areas in the Pilot Plan with the same built type characteristic of open arrangement of midrise buildings (LCZ 5). During the observation period, the results suggested the temperatures values are strongly dependents to direct solar radiation and due to urban materials and presence or absence of shading. The near surface air temperature peaked around 4° C in the morning and afternoon traverse. With an emphasis on urban consolidation polices, the role of the open space should be made effective towards mitigating urban heat effect in order to be incorporated in urban planning for more comfortable and livable spaces for inhabitants.
Keywords: mobile traverse, meteorological shield, urban climate, Brasilia.

1. INTRODUÇÃO

As primeiras pesquisas publicadas sobre clima urbano iniciaram no século XIX, em Londres, onde Luke Howard registrou um excesso de calor na cidade em comparação com o campo, atribuindo essa condição à maior absorção de radiação solar pelas superfícies da cidade e à falta de umidade para a evaporação – fato que reduz trocas térmicas para a retirada de calor (GARTLAND, 2010). Posteriormente ao estudo de Howard, mais pesquisas de climatologia têm dado foco às alterações climáticas observadas ao longo do processo de expansão urbana, agregando conhecimentos de disciplinas como meteorologia, arquitetura e urbanismo, geografia, física, química da atmosfera, entre outras.

A pergunta que surge após esse breve panorama é: qual a importância de se estudar o clima das cidades? A resposta está no entendimento dos efeitos decorrentes desse fenômeno (ROMERO et al., 2019). Uma anomalia decorrente da influência antrópica na atmosfera urbana refere-se às ilhas de calor urbanas (ICU), resultantes da elevação das temperaturas médias nas zonas centrais a mancha urbana em comparação com as zonas periféricas ou rurais (LOMBARDO, 1985).

ICU ocorrem basicamente devido às alterações no balanço de energia nas camadas de cobertura e limite urbanas, proporcionadas pelo aumento de absorção de radiação de ondas curtas, menor perda de radiação de ondas longas, aumento do input de calor sensível, diminuição da evapotranspiração e diminuição do transporte de calor turbulento (OKE, 1987).

Os efeitos negativos da ICU impactam nossa vida cotidiana nas cidades baixando a qualidade do ar e elevando a temperatura no meio urbano. Além disso, com o aumento da temperatura no meio urbano, se eleva o consumo de energia nas edificações com o aumento do uso de aparelhos de ar condicionado ou o aumento da sua potência visando compensar a carga de calor externa.

Por fim, a redução da qualidade do ar e elevação das temperaturas externas implicam na redução do potencial de aproveitamento da ventilação natural no espaço construído, aumentando ainda mais a dependência de sistemas artificiais de condicionamento térmico nas edificações (ROMERO, 2013).

A importância da geometria urbana e da inércia térmica de materiais construtivos destaca-se no processo de calor urbano causado por um ambiente dominado pelo calor sensível que armazena uma grande quantidade de calor durante o dia e libera durante a noite.

Quanto à sua manifestação, as ICUs podem ser observadas nas superfícies urbanas e na atmosfera urbana, exigindo técnicas de medição e monitoramento diferenciadas (OKE, 1987). Por natureza dinâmica e devido à variabilidade do efeito e sua magnitude durante o dia, ainda são limitadas as pesquisas que abordam as variações diárias de ICU e sua ressonância na utilização do espaço público aberto (AKBARI, et al., 2016).

Percebemos que iniciativas de mitigação e de adaptação com foco em eficiência energética são mais frequentemente abordadas pelas políticas urbanas, esquecendo que o desempenho térmico da edificação será influenciado e influenciará o entorno urbano, pensando nos diferentes componentes de uma cidade como elementos desconectados (SHIANO-PHAN et al., 2015).

Por que fazemos observações do clima urbano? A concentração da população em áreas urbanas continua sendo uma tendência e consequentemente observamos que a maior parte das atividades humanas estão direcionadas ao ambiente urbano. Nossa área de estudo, Brasília, foi inaugurada em 1960 e possui uma população estimada de 3.039.444 habitantes (IBGE, 2018) sendo que 96,5% vive em áreas urbanas que ocupam 15,38% do seu território (EMBRAPA, 2017), evidenciando um rápido crescimento populacional e consequentemente a expansão urbana.

Nesse sentido, a preocupação com o ambiente térmico da cidade é relevante. O monitoramento do clima da cidade tem grande importância para a proposição de medidas de adaptação ou mitigação dos impactos negativos de fenômenos associados ao aquecimento urbano, como ilhas de calor.

2. BRASÍLIA: CLIMA E ANTECEDENTES SOBRE O AQUECIMENTO URBANO

Quanto ao contexto climático, a cidade está localizada na região Centro-Oeste do Brasil, entre os paralelos 15°30' e 16°03' e os meridianos 47º18’ e 48º17’ (oeste de Greenwich) e aproximadamente 1.070 metros acima do nível do mar. Apresenta o clima Tropical Brasil Central (IBGE, 2017) e Aw na classificação climática de Köppen-Geiger com duas estações com características distintas: estação quente e úmida de outubro até abril e estação quente e seca de maio até setembro.

Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2017), a temperatura média máxima ocorre em setembro com 28.30°C e a temperatura média mínima em julho com 12.90°C, observando-se importante amplitude térmica diária acentuada pela continentalidade. A precipitação média é mais baixa em junho, cerca de 7 mm. A maior média ocorre em janeiro com 247.40 mm. A umidade relativa do ar diminui com o término do período chuvoso, atingindo níveis abaixo de 30%. Foi incorporado neste estudo o mês de

setembro para a aplicação dos métodos de transecto móvel e sensoriamento remoto, pois é representativo do período quente e seco, caracterizado por condições de céu claro que favorecerem altas temperaturas.

Encontramos algumas pesquisas sobre clima urbano realizadas para o Distrito Federal utilizando métodos variados. A região administrativa de Sobradinho, por exemplo, foi local de estudo de um trabalho que combinou dados dos satélites Landsat e Ikonos para compreensão dos efeitos do fenômeno de ICU (BIAS; BAPTISTA; LOMBARDO, 2003). Os resultados mostraram variações de temperaturas de superfície intra-urbanas de até 9ºC às 9:45h entre uma lagoa e o entorno com presença de grande área asfaltada, chamando atenção para o adensamento urbano e os materiais empregados na construção civil.

O estudo de Castelo Branco (2009) analisou o comportamento microclimático em uma superquadra da capital com foco na vegetação urbana, utilizando simulações microclimáticas. Medições em campo foram realizadas tomando como referência os meses de setembro de 2008 e janeiro de 2009 para caracterizar o período quente-seco e quente-úmido da cidade. Foram analisados três pontos com percentuais diferentes de vegetação e relação W/H e as análises apontaram a importância da vegetação e seu potencial de arrefecimento em relação à temperatura do ar entre os pontos estudados.

Baptista (2010) analisou a evolução da temperatura no Distrito Federal por meio de imagens termais com o sensor TM5 do Landsat nos anos de 1984 e 2001 e análise estatística. O pesquisador observou na comparação desses anos um aumento médio de 2°C da temperatura de superfície e salientou que a relação entre o aumento de temperatura e o crescimento urbano é verificada em diversas áreas do Distrito Federal.

A pesquisa de Silva (2016) se apoiou no monitoramento com transecto móvel para caracterização climática do Plano Piloto, sob o aspecto geográfico. Os resultados atestaram a ocorrência de respostas diferenciadas de umidade relativa do ar e temperatura do ar na cidade durante o período analisado.

Vianna (2018) estudou as relações entre os tipos de materiais de superfície, as temperaturas e a morfologia urbana no processo de formação das ilhas de calor com apoio de sensoriamento remoto. Verificou-se que as áreas mais aquecidas incluem regiões mais adensadas, áreas de solo exposto e coberturas de solo com vegetação rasteira seca em áreas pouco adensadas ou mesmo não ocupadas. As correlações estatísticas entre materiais e temperaturas de superfície foram classificadas como fortes e ascendentes: no Plano Piloto foram em média de 0,94 em agosto e de 0,90 em fevereiro e nas áreas das Regiões Administrativas em média de 0,89 em agosto e de 0,80 em fevereiro. Já para as correlações entre temperaturas de superfície e morfologia por meio do fator W/H (largura/altura) em cânions urbanos, os resultados são: 0,94 em agosto e 0,65 em fevereiro.

Também em 2018, Werneck (2018) investigou áreas destinadas ao comércio local de Brasília com enfoque na mitigação de ICU de superfície, simulando cenários com emprego de materiais frios e vegetação. A simulação microclimática possibilitou uma análise quantitativa do impacto dessas ações na variação da temperatura do ar, temperatura de superfície e temperatura média radiante, destacando o efeito de estratégias combinadas de materiais frios e vegetação.

A partir das pesquisas citadas, percebemos que os métodos mais utilizados estudos do clima urbano em Brasília são: primeiramente sensoriamento remoto seguido por simulação microclimática e transecto móvel. Entretanto, ainda há muito a ser investigado na escala microclimática e sua relação com a mesoescala.

O sensoriamento remoto pode ser empregado em metodologias aplicadas às pesquisas de clima urbano, principalmente para fenômenos como as ilhas de calor urbanas de superfície. Em estudos de temperaturas intra-urbanas, a partir do uso das informações de bandas termais, pode-se obter detalhes da distribuição da temperatura superficial da malha urbana e fazer correlações com uso do solo, forma urbana, presença de corpos d'água e áreas verdes, por exemplo.

Nesse aspecto, a resolução espectral das imagens é um fator importante na detecção e identificação dos objetos, tendo em vista a diversidade da composição do espaço intra-urbano, onde os alvos apresentam grande diversidade, como edifícios, loteamentos, praças, estacionamentos, gramados, asfalto, etc., cada um com uma assinatura espectral diferente (MENEZES e ALMEIDA, 2012, p.241). Esses autores ressaltam as interferências das condições ambientais e climáticas nessa temperatura de superfície, modificando-a em curtos intervalos de tempo, podendo variar temporalmente os dados na faixa do termal.

Sobre o processamento das imagens destaca-se que os sensores termais orbitais realizam uma medida indireta da temperatura de superfície, o que exige uma correção das propriedades da superfície radiativa que influenciam a emissão e reflexão da radiação de comprimentos de ondas espectrais detectadas pelo sensor.

Os transectos móveis são geralmente utilizados de forma suplementar à estação fixa para levantamento das variáveis climáticas. Trata-se da utilização de veículos para realizar a medição dos dados podendo abranger diversos pontos da cidade em um percurso, mostrando as diferenças entre as variáveis medidas. Tendo em vista a diversidade e heterogeneidade das cidades e, simultaneamente uma diversidade de

microclimas, esse tipo de levantamento gera avanços em climatologia urbana em termos qualitativos e quantitativos sobre a variação das variáveis medidas.

A simulação computacional de microclimas urbanos pode ser empregada como um método de pesquisa para a compreensão dos fenômenos relacionados ao clima urbano e avaliar as estratégias de mitigação dos impactos da ICU antes de sua implementação. Este recurso tem sido amplamente aplicado em trabalhos de pesquisa podendo ser uma alternativa aos trabalhos de campo para obtenção de informações para diagnóstico (BARBIRATO et al., 2016).

3. OBJETIVO

O objetivo geral deste artigo é contribuir para o estudo sobre o aquecimento urbano em Brasília – DF, durante a estação quente-seca com o levantamento das variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de superfície para investigação da variação diária do aquecimento urbano.

4. MÉTODO

O monitoramento do aquecimento urbano pode ser realizado por diversas abordagens que dependerão da escala, recursos e objetivos. Gartland (2010, p.38) cita algumas abordagens utilizadas para medição e monitoramento, sendo as mais comuns as estações fixas, transectos móveis e sensoriamento remoto. Este trabalho é multi-métodos e se apoia na utilização de sensoriamento remoto e transecto móvel. Para tal, os procedimentos metodológicos foram divididos em etapas:

1. Observação da variação de temperatura de superfície intraurbana da cidade utilizando técnica de sensoriamento remoto;
2. Observação da variação de temperatura do ar e umidade relativa do ar utilizando técnica de transecto móvel;
3. Análises das variáveis medidas referentes às duas técnicas apresentadas.

4.1. Observação da temperatura de superfície – sensoriamento remoto

Para este trabalho foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, disponibilizadas gratuitamente via internet pelo Serviço Geológico Americano (USGS). O recorte desse estudo, a cidade de Brasília, foi pesquisado na plataforma do USGS e selecionou-se a imagem do dia 29 de setembro de 2018, correspondente ao período de seca e com pouca nebulosidade (7%). O resumo da imagem segue abaixo:

- Data de passagem do satélite: 29/09/2018
- Horário central: 13:14h GMT
- Latitude: -14.84423
- Longitude: -48.97268

O sensor infravermelho do Landsat 8 (chamado TIRS) mede a intensidade do fluxo radiante proveniente da superfície terrestre. Essa radiância é denominada radiância aparente por incluir influência da atmosfera e de objetos vizinhos, sendo convertida em números digitais no próprio sensor. Para o tratamento da imagem infravermelha termal, os números digitais da banda 10 deverão ser convertidos para radiância espectral do topo da atmosfera (Lʎ) conforme Equação, posteriormente para temperatura de brilho em Kelvin (K) e finalmente convertida para graus Celsius (ºC).

As equações foram disponibilizadas pelo USGS (2018) e as constantes e fatores multiplicativo e de redimensionamento estão sumarizadas no arquivo metadado da imagem. O programa ArcMap versão 10.6.1 foi utilizado para o processamento das imagens. Ele pertence à família de ferramentas SIG (Sistema de Informação Geográfica) e permite armazenar, organizar, processar e apresentar dados georeferenciados. O roteiro para elaboração do mapa de temperatura de superfície é apresentado na Figura 01.



Figura 01 - Roteiro para elaboração de mapa de temperatura de superfície com método de sensoriamento remoto.

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad \text{Equação 1}$$

Onde:
Lλ = Radiância espectral no topo da atmosfera (W / (m2 * sr * μm))
ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 0.00033420
Qcal = número digital = imagem banda 10
L = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 = 0.10000

A temperatura de brilho do sensor assume que a Terra é um corpo negro (emissividade igual a 1) e inclui efeitos atmosféricos como absorção e outras emissões (SANTOS et al., 2014). Também chamada de temperatura radiante, pode ser estimada pela Equação.

$$T_{rad} = \frac{K2}{ln\left(\frac{K1}{L\lambda}+1\right)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:
Trad = Temperatura radiante em Kelvin (K)
K2 = Constante termal 2 da banda 10 = 1321.08 (K)
K1 = Constante termal 1 da banda 10 = 774.89 (K)
Lλ = Radiância espectral em W / (m2 * sr * μm)

Após este processamento aplicou-se a transformação das temperaturas de unidade Kelvin (K) para graus Celsius (°C), subtraindo o seu valor absoluto igual a 273,15.

4.2. Observação da temperatura do ar – transecto móvel

O método de pesquisa consistiu em desenhar uma rota para travessia com um automóvel equipado com sensores de temperatura do ar e umidade relativa do ar para comparar o perfil térmico de áreas urbanas em Brasília com o tipo de construção característica da escala residencial do Plano Piloto, orientado pela incorporação de superquadras com edifícios de 3 andares com pilotis dispostos em blocos residenciais, escolas, comércio local, igrejas e áreas verdes públicas.

Para melhor descrever a forma urbana da área de estudo, foi elaborado a Figura 02 baseada no método de Zonas Climáticas Locais, proveniente do termo inglês *local climate zones* (LCZ). Essa classificação, baseada na proposta de Stewart e Oke (2012), surge da divisão da paisagem urbana em classes simplificadas de um contexto morfológico e de temperatura, onde são locais na escala, climática na natureza e zonal na representação (STEWART e OKE, 2012, p. 1884). Nesse sentido, Stweart e Oke identificaram elementos urbanos que podem afetar a atmosfera e para tanto descreveram as propriedades das áreas urbanas e suas características morfológicas e propuseram uma classificação para áreas urbanas e um posterior agrupamento por similaridade.

Esta análise foi realizada com o auxílio da imagem do satélite Plêiades do ano de 2017, disponibilizada no Geoportal, plantas cadastrais da cidade e por observações in loco das características urbanas. Neste estudo são utilizados como parâmetros de classificação de LCZ a relação H/W, porcentagem de área edificada, porcentagem de área impermeável e altura dos elementos de rugosidade. Para a determinação dos parâmetros foi determinada uma área de abrangência a partir de um ponto, com diâmetro de 400 metros.

A rota passa pela intersecção com o eixo monumental, que concentra edifícios públicos ícones da arquitetura do movimento modernista que atraem visitantes de todo o mundo (Figur). A aplicação do método ocorreu na estação quente e seca (27 a 28 de outubro de 2018), em dias calmos, céu limpo e sem nuvens para investigar a temperatura do ar. A média da temperatura do ar durante foi da ordem de 28 °C e a umidade relativa de 38% de acordo com a Estação Automática de Brasília, um dado oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na parte sudoeste da cidade.



Figura 02 – Caracterização da área urbana na rota do transecto móvel: LCZ 5.

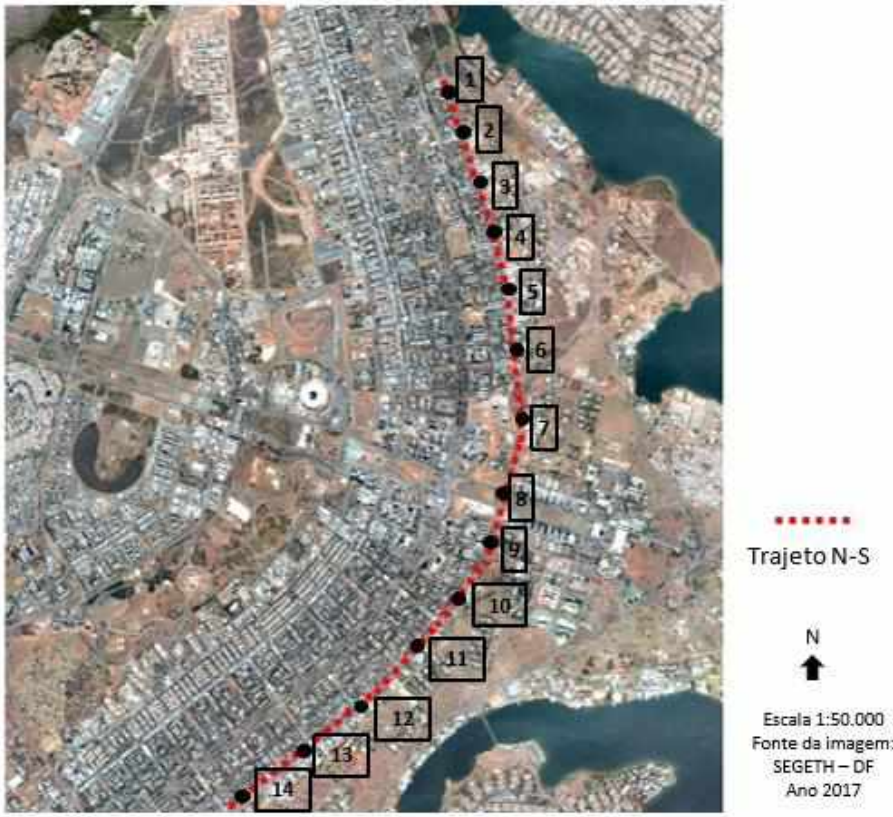


Figura 03 – Trajeto do transecto móvel no Plano Piloto em setembro de 2018 e pontos de parada para coleta de dados (Imagem de satélite: Pleiades, 2017)

A temperatura do ar e a umidade relativa do ar foram medidas durante viagens pela manhã (09:00 - 10:00h), à tarde (15:00 - 16:00h) e no início da noite (20:00 - 21:00h). O tempo máximo entre o início e o fim das medições foi de uma hora, para evitar que a atmosfera urbana sofresse alterações meteorológicas naturais significativas que pudessem comprometer os resultados. Para dados de referência, a estação automática INMET foi utilizada.

Dois registradores de dados termo higrômetros (HOBO MX2301, resolução de 0,04 ° C e precisão ± 0,25 ° C) foram instalados a 2,00 metros acima do nível do solo, em um carro de passeio, protegido por um abrigo meteorológico. Um registrador de dados colocado no sol direto ou exposto a uma fonte de calor radiante, como um edifício, não fornecerá leituras precisas da temperatura do ar. Portanto, dois abrigos meteorológicos foram construídos com tubo branco de PVC perfurado para evitar o efeito da radiação solar direta e para permitir a passagem de fluxo de ar em seu interior. O abrigo horizontal foi coberto internamente com papel laminado. O abrigo vertical foi isolado com uma esponja para eliminar a transferência de calor do veículo (Figura 04 e Figura 05). Os dados foram registrados a cada 60 segundos enquanto o veículo se movia a uma velocidade de 20 km/h. No total foram coletados 14 pontos, onde foi necessário esperar 2 minutos para estabilização dos equipamentos devido ao deslocamento ponto-a-ponto realizado. As informações registradas foram moderadas com base nos dados medidos na Estação Automática de Brasília.



Figura 04 – Construção dos abrigos meteorológicos vertical e horizontal: (a) tubulação de PVC perfurada, (b) instalação de camada de isolamento, (c) registrador de temperatura do ar/umidade relativa do ar HOBO MX2310 e (d) abrigo meteorológico montado (vertical).



Figura 05 – Conjuntos (abrigos meteorológicos + registradores) instalados no automóvel do Lasus – UnB (altura de instalação = 2,0 metros).

5. RESULTADOS

Com a aplicação do método da etapa 1, foi elaborado um mapa de temperatura de superfície da cidade apresentando as variações térmicas intra-urbanas. O resultado foi reclassificado em 12 faixas de temperaturas conforme legenda da Figura 06.

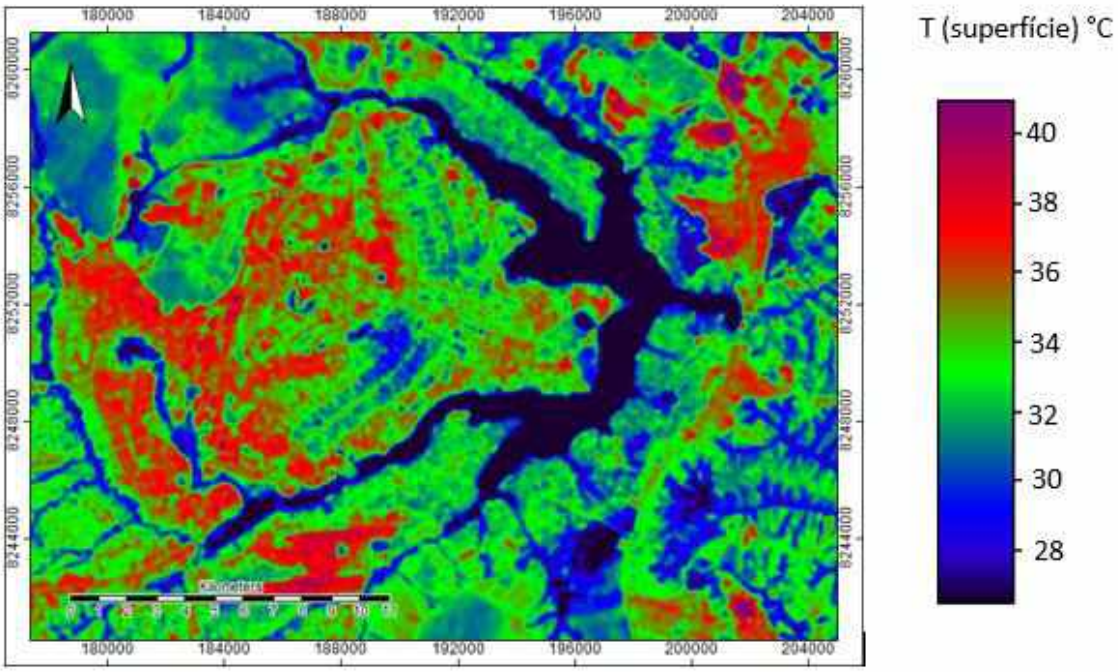


Figura 06 – Distribuição da temperatura de superfície em Brasília em 29/09/2018.

Pela distribuição da temperatura de superfície, observam-se as manchas urbanas periféricas potencialmente mais quente que o Plano Piloto, Lago Sul e Lago Norte. Os corpos d'água (Lago Paranoá e Lagoa do Jaburu) apresentaram temperaturas em torno de 22°C. Em uma análise visual permitiu-se localizar frações urbanas com temperaturas de superfície mais amenas entre 28°C e 30°C em áreas residenciais da Asa Sul, Lago Sul, parques urbanos e contorno do Lago Paranoá.

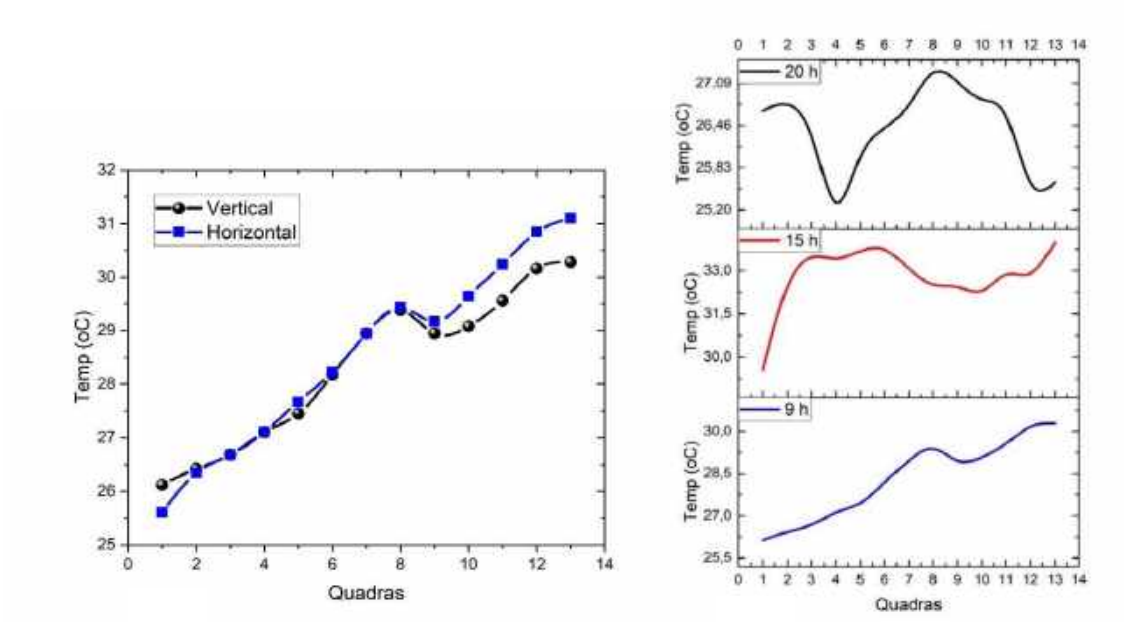
Em regiões periféricas não ocupadas, áreas com solo exposto, aeroporto e nas áreas cultivadas também ocorrem variações termais atingindo temperatura de superfície em torno de 40°C. Uma hipótese é que esse aumento intenso de temperatura configura ocorrência de vegetação seca ou de queimadas, propiciadas pela ausência de chuvas e baixa umidade relativa do ar, características desta época do ano.

No Plano Piloto é possível identificar um contraste entre a Asa Sul e o Eixo Monumental, com variação de temperatura de superfície da ordem de 34°C a 38°C. A Asa Sul foi a primeira a ser construída e possui maior arborização. Pesquisas de Romero (2011) afirmam que edifícios construídos nas superquadras, principalmente Asa Norte, a partir de 1990 possuem elementos que prejudicam o fluxo do vento e aumentam a temperatura do ar como pilotis descaracterizados e fachadas espelhadas.

Os resultados da etapa 2, com a utilização dos transectos móveis, na comparação dos resultados entre os sensores instalados nos abrigos meteorológicos vertical e horizontal, o dispositivo horizontal apresentou melhor desempenho e foi utilizado para construção do gráfico b na Figura 07.

Os resultados sugerem que os valores da temperatura do ar são dependentes da radiação solar direta sobre os materiais urbanos e da presença ou ausência de sombreamento. No perfil térmico dos horários monitorados, a maior temperatura do ar registrada foi de 34,09 °C e a menor umidade relativa do ar medida foi de 53%, ambas ocorrendo nos pontos 6, 7 e 8 correspondendo à passagem em áreas com maior quantidade de edificações e vegetação esparsa.

A diferença máxima da temperatura do ar na superfície próxima atingiu cerca de 4 °C no período da manhã e da tarde (Figura 07). A diferença máxima de temperatura do ar de 2 °C foi observada em relação à Estação Meteorológica Automática de Brasília no período da tarde. A diferença máxima de umidade relativa do ar de 13% foi identificada durante a jornada da tarde. O perfil térmico teve mais flutuação durante o horário de 9h. O transecto noturno apresentou menor variação de temperatura do ar.



(a) (b)

Figura 07 – (a) Comparação entre sensores em abrigos meteorológicos vertical e horizontal e (b) resultados das medições de temperatura do ar por meio de transecto móvel.

Observando os dados de temperaturas do ar, coletados em transecto móvel e os dados de temperaturas de superfícies, obtidos nas imagens termais de sensoriamento remoto, observamos que os métodos podem ser utilizados de forma complementar. Muito embora os dados de temperatura do ar tenham sido coletados em três horários ao longo do dia (9:00 h, 15:00 h e 20:00 h), em contraposição aos dados de temperatura de superfícies, cuja imagem é obtida em horário único, aproximadamente às 10 h da manhã (GMT-3), os resultados indicam maior aquecimento de áreas com predominância de solo exposto e superfícies pavimentadas e menor aquecimento de áreas densamente arborizadas, sombreadas ou próximas do lago Paranoá.

6. CONCLUSÕES

O acelerado e impactante processo de urbanização traz a demanda por ações no sentido de mitigar o aquecimento urbano. O uso de ferramentas de geotecnologias para obtenção de dados precisos, somados a levantamentos de campo são técnicas que podem resguardar as tomadas de decisões projetuais e também para o ordenamento territorial.

Sobre a utilização das técnicas, observa-se que os estudos que almejem relacionar diferentes escalas de observação (macro e microescala) deverão dispor de dados de alta a média resolução. Neste sentido, a utilização de dados dos sensores termais Landsat8 (100 m) para análises em macroescala são adequados, mas, para análises termais em microescala não são aplicáveis. Outra limitação é que este sensor não imageiam à noite, representando uma restrição para estudo das variações térmicas neste horário. Entretanto, há de se considerar a questão da sua acessibilidade, pois pelo fato de ser disponível gratuitamente oferece uma grande possibilidade de monitoramento com baixo custo em relação às medições *in situ*. Outros sensores produzem imagens noturnas (ex. MODIS) e podem ser explorados em uma continuação do estudo.

Os resultados também fornecem mais uma evidência do papel da vegetação moderando a temperatura do ar e aumentando a umidade nas áreas urbanas através de superfícies de sombreamento e do processo de evapotranspiração. Com ênfase nas políticas de consolidação urbana, o papel do espaço aberto deve ser evidenciado para mitigar os efeitos negativos do aquecimento urbano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARI H.; CARTALIS, C.; KOLOKOTSA, D.; MUSCIO, D.; PISELLO, A. L.; ROSSI, F.; SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A.; WONG, N. H. & ZINZI, M. Local climate change and urban heat island mitigation techniques – the state of the art, **Journal of Civil Engineering and Management**, 22:1, 1-16, 2016.

BAPTISTA, Gustavo Macedo. Ilhas de Calor. Scientific American Brasil. **Revista Digital**. Editora Moderna: São Paulo, ano 1, no. 2, pg. 24-31, 2010. Disponível em: https://issuu.com/ed_moderna/docs/aula2_final_bx?e=2064801/6634353. Acesso em 06 de junho de 2018.

BARBIRATO, G.; SOUZA, L.; TORRES, S. Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídios para estudos urbanos. 2ª edição, Maceió: EDUFAL, 2016.

BIAS, E. D. S.; BAPTISTA, G. M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. **XI SBSR**, Belo Horizonte, p. 1741–1748, 2003.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível online em: www.ibge.gov.br. Acessado em 26 de abril de 2018.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Normais climatológicas para Brasília – DF. 2015**. Disponível online em: www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos. Acesso em 01 de junho de 2018.

CASTELO BRANCO, Lorena Burgos. **Microclimas Urbanos no Plano Piloto de Brasília: o caso da Superquadra 108 Sul**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Agropecuária. Disponível online em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28840923/mais-de-80-da-populacao-brasileira-habita-063-do-territorio-nacional

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

LOMBARDO, Magda A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Editora Hucitec, 1985. 244p.

MENEZES, P.; ALMEIDA, T. (org). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UnB, 2012.

OKE, T. R. **Boundary Layer climates.** 2 ed. London: Methuen, 1987.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Editora UnB, 2013.

_____, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília**. São Paulo: Nova Técnica Editorial, 2011.

ROMERO, M. A. B.; BAPTISTA, G. M. de M. ; LIMA, E. A. de ; WERNECK, D. R. ; VIANNA, E. O. ; SALES, G. de L. . Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas. 1. ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2019. v. 1. 151p. Disponível em: http://repositorio.unb.br/handle/10482/34661

SANTOS, A. R. et al. **Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2 Passo a Passo: Processamento de Imagens Orbitais** – Volume 1. Alegre: CAUFES, 2014.

SEMA-DF. Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Distrito Federal. **Mudanças Climáticas no DF e RIDE**. [S.l.], 2016.

SHIANO-PHAN, R., WEBER, F., SANTAMOURIS, M. The Mitigative Potential of Urban Environments and Their Microclimates. **Buildings**, 5, pp. 783-801, 2015.

SILVA, H. C. A. **Diferenças térmicas e higrométricas do ano de 2016 em Brasília – DF: subsídios para definição do clima urbano**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

USGS. U.S. Geological Survey (USGS). **Landsat 8 (L8) data users handbook**. Vr. 2.0, 2016. Disponível em: https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf. Acesso em 18 de junho de 2016.

VIANNA, Elen O. **O campo térmico urbano: ilhas de calor em Brasília – DF**. Tese de Doutorado pelo Programa de Pós Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2018.

WERNECK, D. R. **Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas: estudos de casos em áreas comerciais em Brasília - DF**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à FAPDF e ao CNPq pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.