



Análise do desempenho térmico dos materiais superficiais do contexto urbano do SIA/ DF

ANDRADE, Paulo César Rodrigues¹
ROMERO, Marta Adriana Bustos²

¹ Arquiteto e Urbanista, Universidade de Brasília (UnB), pc.andrade@outlook.com.br

² Arquiteta, Doutora, Professora do PPG-FAU, Universidade de Brasília (UnB), romero@unb.br

RESUMO

Este trabalho investiga o desempenho térmico dos materiais superficiais que compõem o contexto urbano do Setor de Indústrias e Abastecimento – SIA em Brasília - DF, analisando a influência no ambiente. A escolha da área de estudo se deu pela diversificação de usos que a região apresenta, sua destinação inicial sofreu grandes modificações até o projeto urbano final executado na localidade. Neste sentido, o objetivo deste artigo é contribuir com estudos que auxiliam o desenho urbano sustentável, visto que, o acelerado processo de crescimento desordenado das cidades, provocam problemas urbanos de ordem ambiental. Diante disso, o método de trabalho é sustentado pela literatura especializada, na observação de temperaturas superficiais com a utilização de imagens orbitais do satélite Landsat 8, e por fim, na realização de simulações computacionais com o software ENVI-MET versão 4.3.2, utilizando o índice de conforto térmico urbano PMV - Voto Médio Predito de Fanger (1970), assumindo para este estudo o período quente-seco. Para isso, foram selecionados no SIA, pontos com diferentes relações W/H, segundo classificação de Romero (2011). Como resultado, destaca-se a evidência de microclimas distintos dependendo da conformação de uso e ocupação do solo na área de estudo, e assim foi possível concluir diante das análises comparativas dos recortes da área, que os materiais superficiais e a vegetação, contribuem de forma concreta para oferecer benefícios climáticos ao microclima local.

Palavras-chave: Materiais superficiais; Microclima urbano; Conforto térmico; Landsat 8; ENVI-MET.

ABSTRACT

This paperwork investigates the thermal performance of the superficial materials that composes the urban context of Industries and Supply Sector (Setor de Indústrias e Abastecimento) - SIA in Brasília - DF, analysing its influence in the environment. The choice of the area of study was given by the diversification of usage that the region presents, its initial destination passed through many changes until the final urban project executed at the locality. For that matter, the aim of this article is to contribute with the studies that helps the sustainable urban development, since the accelerated process of disorderly growth of cities causes environmental urban problems. In view of the above, the working method is sustained by the spcialized bibliography, I'm the observance of superficial temperatures using orbital images from Landsat 8 satellite, and finally in the realization of computational simulations with ENVI-MET, version 4.3.2 software, using PMV – Predicted Medium Vote of Fanger (1970) thermal comfort index, assuming, for this study, the hot-dry period. For that, points with different W/H relations, following classification by Romero (2011), were selected at SIA. As a result, is highlighted the evidence of distinct microclimate, depending on the confirmation of usage and occupation of the soil in the area of study, and thus it was possible to conclude in front of the comparative analysis from the clippings of the area, that the superficial materials and vegetation, contributes in a concrete way to offer climate benefits to the local microclimate.

Keywords: Superficial materials; Urban microclimate; Thermal comfort; Landsat 8; ENVI-MET

1. Introdução

As cidades possuem uma conformação urbana definida por atividades antrópicas, como o elevado adensamento de edifícios, grandes áreas impermeáveis e vias asfaltadas. Essa configuração contribui para uma maior absorção e difusão da radiação solar, como consequência desses fatores, há uma perda de umidade e aumento de temperaturas, fenômeno denominado como ilha de calor. Sendo assim, a malha urbana é constituída por microclimas distintos, que para Romero (2011) dependem da geometria urbana W/H (Width/Height), que mostram a interação entre a largura das vias e a altura dos edifícios, e seu impacto no processo de absorção da radiação solar e da radiação de ondas longas emitida pelas superfícies dos edifícios e do solo.

Estudos relacionados ao clima urbano, de acordo com Monteiro (1976), tiveram início em meados do século XIX, no princípio do processo de industrialização, no qual o meteorologista e cientista Luke Howard, averiguou a diferença de temperatura da cidade de Londres, em comparação com seu entorno rural no ano de 1833, através de avaliações meteorológicas.

Motivados pelo rápido processo de urbanização das cidades, no Brasil, os primeiros estudos relacionados a climatologia urbana, surgiram na década de 1950 e 1960, pautadas em teorias internacionais como de Landsberg (1956), Olgay (1968) e Oke (1972).

Monteiro (1976), contribuiu para as soluções de problemas ambientais de natureza urbano, tendo grande relevância nas elaborações de análises climáticas e ambientais. E somaram ainda os estudos posteriormente realizados para asseverar que “a concepção de clima prende-se àquela dos estados médios dos elementos atmosféricos sobre o dado lugar que, no caso, atar-se a existência de uma cidade”. (MENDONÇA E MONTEIRO, 2003, p. 11). Desta forma, Romero (2015) também destaca que o ambiente urbano sobre influência direta das alterações climáticas decorrentes do processo de urbanização, bem como do clima existente. Além disso, a autora ressalta que a urbanização excessiva negligência características locais importantes para o conforto dos usuários, como o relevo e demais características morfológicas do sítio, causando impactos negativos para a população e sendo um gatilho para modificações climáticas. (ROMERO, 2015).

De modo específico, o presente artigo irá tratar o clima da microescala urbana. A microescala aplica-se a pequenos recortes espaciais, são os fenômenos compreendidos em dimensão típica de 0,01km à 1km. Características topográficas menos acentuadas e dos ambientes em pequena escala (e.g. geometria dos edifícios, obstáculos, texturas, tipos de solos e recobrimentos, extensão superficial, etc.), modificam sensivelmente em pequenas áreas e de modo bastante notável as características gerais do fluxo de ar, da luz solar, da temperatura e da umidade (OKE, 1987). Os fenômenos nessa escala desenvolvem-se num espaço vertical que se denomina na climatologia de camada do dossel urbano – CDU (ou em inglês, urban canopy layer), que corresponde aproximadamente à altura média dos principais elementos de rugosidade, ZH (edifícios e árvores). Nessas dimensões, a temperatura do ar pode variar bastante (e.g. em função da forma e das texturas dos objetos construídos) e a circulação do ar é muito perturbada devido à presença dos edifícios como obstáculos.

Para tanto apresentamos alguns autores que trabalham nessa linha. Romero (2000), aponta a separação de fatores e elementos climáticos, como globais que definem os climas macros ou gerais e a escala microclimática, no qual, aborda o clima originário de um ponto específico sendo da cidade, bairro, rua, etc. Assim como Lynch (1980) afirma que as modificações microclimáticas, são influenciadas pela topografia, cobertura, superfícies do solo e elementos antrópicos. Romero (2000), ressalta ainda que, tratando da escala microclimática o movimento do ar exerce influência principalmente sobre as edificações e os pedestres, visto que, há um aumento das perdas de calor por convecção. Logo, os materiais superficiais devem ser apropriados para o microclima, uma vez que, pode se tirar proveito do albedo desde que não ocorra impacto negativo na acústica do lugar.

Contudo, a partir do que foi exposto, apresentamos algumas pesquisas de autores que trataram dos temas relacionados ao clima urbano. O foco deste estudo é o microclima, conseqüentemente, investigou-se pesquisas sobre a formação de ilhas de calor urbana, a relação dos materiais superficiais e suas propriedades específicas e o conforto térmico em espaços abertos.

1.1. Ilha de Calor Urbano

Resultado do crescente processo de urbanização, uma das principais modificações climáticas é a formação de ilhas de calor, característica do clima urbano ocorrida principalmente nas grandes cidades. (FROTA E SCHIFFER, 2001). De acordo com Romero (2011), a alta densidade de edificações é uma característica da ocupação do solo nas cidades, onde se encontram áreas abertas pavimentadas e impermeáveis, conseqüentemente existem maiores atividades antrópicas, desta forma, ocorre grande captação e difusão da radiação solar, pois a elevada capacidade de armazenamento calorífico dos materiais das edificações, resultam em uma diminuição da umidade do ar e com isso a formação da ilha de calor urbana. (ROMERO, 2011).

Lombardo (1985), estudou a formação da ilha de calor em São Paulo, concluindo em suas análises que a cidade apontou uma temperatura horizontal superior a 10°C, do mesmo modo que a área que apresentou pico de calor, demonstraram altos índices de poluição e adensamento de edifícios e indústrias, em contrapartida, menor presença de vegetação e fontes de água. Romero (2015), afirma que na perspectiva ambiental, a alta concentração de edifícios a radiação armazenada é maior, bem como a produção de calor, existência de grandes áreas impermeáveis e a presença de contaminantes atmosféricos, ou seja, existe maior propensão a variáveis climáticas, pois os obstáculos dos ventos são maiores, diminuindo as perdas de calor por evaporação e a baixa umidade do local.

Sendo assim, Teza e Baptista (2005), reforça que os materiais empregados nos edifícios possuem relação com a refletividade ou albedo, pois dependendo do material mais radiação será absorvida e, por conseqüência, mais calor será emitido pela superfície. Não obstante, Lynch (1980), enfatiza que em um microclima estável o solo possui um albedo baixo e uma condutividade alta, pois o excesso de calor é absorvido e armazenado rapidamente, sendo devolvido quando as temperaturas diminuírem, assim sendo, em microclimas de extremos, os materiais superficiais possuem alto albedo e baixa condutibilidade. Desse modo, Romero (2015) resume as diferenças dos fatores independentes que favorecem a criação da ilha de calor:

- a. Diferenças na média da radiação entre a área urbana e as imediações, em particular, a baixa taxa de esfriamento radiante durante as noites;
- b. A estocagem de energia solar da massa dos edifícios da cidade durante o dia cedida à atmosfera durante a noite;
- c. Concentração de geração de calor pelas atividades que têm lugar na área urbana;
- d. Baixa evaporação desde o solo e a vegetação na área urbana construída, quando comparada com a área rural aberta;
- e. Fontes de calor estacionais: calefação no inverno e ar-condicionado no verão, tudo é cedido ao ar urbano. (ROMERO, 2015, p. 90).

1.2. Relação dos materiais superficiais e suas propriedades específicas

Os materiais superficiais dos edifícios possuem grande importância para controlar seu comportamento de condução de calor, de forma que, quanto mais lento a troca de temperatura transmitido pelo material, maior será a capacidade de conservar o calor. (ROMERO, 2015).

Além disso, as superfícies construídas atravessam por diferenças espaciais e temporais de temperatura devido vários níveis de exposição solar durante o dia. (ROMERO, 2000). O aumento da temperatura e redução da umidade do ar, estão relacionados com as modificações do balanço da radiação, que por sua vez, são influenciados pelos materiais de construção utilizados nas superfícies

urbanas, que possuem propriedades físicas diferentes do solo natural, manifestando um valor menor de albedo, isto é, o coeficiente de refletância, Quadro 1, bem como apresenta maior capacidade de armazenagem de calor e valor elevado de condutividade térmica. (SILVA; ROMERO, 2009). Pois no clima urbano, a princípio, destaca-se a energia vinda do sol, direcionada à atmosfera circundante a cidade, logo, considera-se os efeitos que a própria atmosfera produz entre o sol e a superfície terrestre, pelo qual, a conformação urbana, os diferentes usos do solo e os materiais das superfícies edificadas, exercem efeitos relevantes para a reflexão, absorção e armazenamento térmico, sendo que, o homem é responsável pelo desempenho deste sistema, atuando de forma positiva ou negativa. (ROMERO, 2015). Desta forma, Romero (2015), afirma ainda: “nas zonas quentes devem ser considerados os efeitos combinados da reflexividade e da emissividade dos materiais para se obter melhores condições de habitabilidade”. (ROMERO, 2015, p. 84 e 85).

Tabela 1: Albedo de algumas superfícies urbanas

Tipo de superfície	Albedo	Tipo de superfície	Albedo
Solo negro e seco	14	Gramados	15-30
Solo negro e úmido	8	Concreto seco	17-27
Solo nu	7-20	Asfalto	5-10
Areia	15-25		

Fonte: Adaptado Mendonça e Monteiro (2003).

1.3. Conforto térmico em espaços abertos

A importância de se monitorar o microclima dos espaços abertos, segundo Silva (2013), é a oferta e a disponibilização de informações para a criação de um ambiente confortável para os usuários se beneficiarem do espaço, no qual, sintam-se tolerantes em relação aos níveis de conforto, adaptando-se mais facilmente a variabilidade do clima urbano.

Romero (2000), afirma que a temperatura, a radiação e o movimento do ar, possuem relações diretas com a percepção térmica, fisiológica e comportamental do homem. Assim como, Frota e Schiffer (2001); Monteiro e Alucci (2005); Olgyay (1963), apontam que os parâmetros mais importantes para o conforto térmico em espaços abertos, são a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do ar e a temperatura radiante média. Desta forma, existe uma complexidade de se apresentar em um único aspecto as reações humanas ao ambiente térmico, sendo necessário uma combinação de diversos fatores, como os elementos ambientais e as variáveis pessoais para designar um único parâmetro, qualificando assim o índice térmico. (CAMPANHONI, 2011).

Silva (2013), sustenta que, o grau de conforto do usuário pode ser avaliado por diversos métodos, porém, a forma mais eficaz segundo o autor é utilizar algum índice. Esses índices geralmente são desenvolvidos fixando um tipo de atividade e a vestimenta utilizada pelo usuário para efeito conjunto dessas variáveis, englobando assim um parâmetro aos índices de conforto térmico. (FROTA E SCHIFFER, 2001; LAMBERTS et. al., 1997; OLGAY, 1963).

Monteiro e Alucci (2005) trabalham em uma linha de pesquisa dentro do contexto climático do Brasil, direcionada ao conforto dos usuários nos espaços abertos. Assim, Monteiro e Alucci (2010) relatam a fragilidade dos dados coletados nos espaços externos, pois estes apresentam uma maior heterogeneidade ambiental, devido as variadas configurações urbanas, sendo necessário adicionar fatores como a incidência da radiação solar e ventos, ao contrário dos ambientes internos.

Em uma pesquisa na Universidade de São Paulo - USP, Monteiro e Alucci (2005) estudaram pela primeira vez no Brasil, um índice de conforto para o espaço aberto, utilizando o método indutivo experimental, que organiza um levantamento em campo de variáveis microclimáticas, individuais e subjetivas, sustentada por estudo experimental e comparativo, denominada como simulação preditiva. Logo depois, Monteiro e Alucci (2010), compararam os estudos acima descritos com uma proposta de calibração de modelos preditivos, apresentando avaliações de espaços externos sombreados ou não,

no qual, evidenciaram a necessidade de aplicar uma base empírica em diversos parâmetros climáticos, adequando-se ao modelo utilizado.

Monteiro e Alucci (2005), reforçam ainda a necessidade de se coletar dados do usuário para a criação de índices de conforto, pois segundo os autores, existem às perspectivas pessoais de conforto de cada usuário, no qual, a parcialidade compromete a pesquisa, sendo uma condição limitadora. Monteiro e Alucci (2005) apresentam uma vasta pesquisa sobre os principais índices de conforto utilizados no contexto urbano, como o índice Voto Médio Predito (PMV - predicted medium vote). Criado por Fanger (1970), representa a sensibilidade das pessoas ao calor e ao frio.

De acordo com Silva (2013), o índice PMV, é um dos índices mais utilizados na literatura de conforto térmico, pois ele inclui relevantes parâmetros do microclima como a pressão de vapor de água, temperatura da vestimenta do usuário, coeficiente de calor por convecção, temperatura radiante média e temperatura do ambiente, além disso, é possível inserir como índice de conforto térmico citado em programas computacionais conhecidos tanto na avaliação de desempenho energético de edifícios, quanto em programas para análise do clima urbano, por exemplo o ENVI-MET, que será utilizado para devidas simulações neste artigo.

1.4. Simulação Computacional

O software utilizado nesta pesquisa será o ENVI-MET versão 4.3.2. De acordo com Bruce (2008), o software em questão, trabalha com modelo numérico que simula a aerodinâmica, termodinâmica e balanço da radiação nas conformações urbanas, conforme a posição do sol, morfologia urbana, vegetação, solo e materiais superficiais dos edifícios, oferecidos nos arquivos de entrada.

Segundo Silva (2013), os resultados do software ENVI-MET apresentam uma precisão satisfatória de cálculos, sendo uma ferramenta simplificada que oferece diversos formatos de saídas, como mapas e gráficos autoexplicativos. O autor ressalta ainda que os dados de entrada do ENVI-MET, devem ser atenciosamente preparados, para que os resultados sejam o mais realístico possível, sendo uma fase importante antes do início das simulações. (SILVA, 2013).

2. Objetivo

O objetivo desta pesquisa é analisar o desempenho térmico ambiental dos espaços abertos em áreas do Setor de Indústrias e Abastecimento - SIA em Brasília - DF, evidenciando os efeitos tanto de materiais superficiais urbanos, quanto da vegetação em relação as condições microclimáticas próximas ao pedestre. Assim sendo, será realizado o estudo da configuração urbana existente, caracterizando a área estudada através de seus elementos urbanos, identificando possíveis variações das condições térmicas do microclima local. Por meio de observações de imagens orbitais do Landsat 8, será identificado na malha urbana, áreas que apresentam manchas de ilha de calor e áreas com temperaturas amenas, ilhas de frescor. Após a detecção dessas áreas, pretende-se analisar os recortes selecionados utilizando o software ENVI-MET versão 4.3.2, para estudos microclimáticos comparativos.

3. Método

O método utilizado nesse trabalho é o de simulação em modelo computacional do ambiente urbano realizando as seguintes etapas:

- a. Caracterização da área de estudo.
- b. Escolha do recorte analisando as imagens termais do Landsat 8.
- c. Elaboração do modelo para simulação.
- d. Definição do índice de conforto térmico: PMV.
- e. Calibração do ENVI-MET versão 4.3.2.
- f. Análise dos resultados.

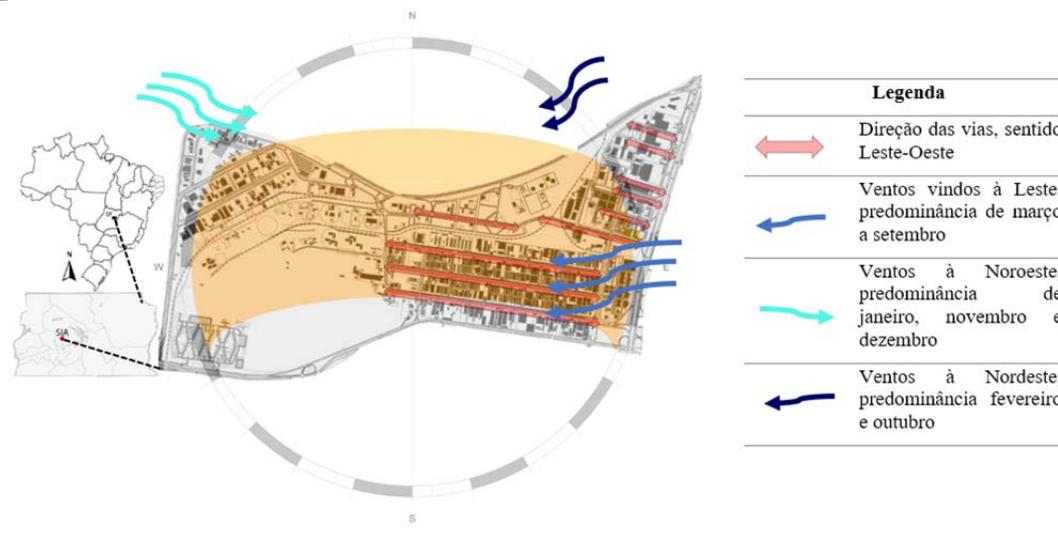
g. Conclusões.

3.1. Caracterização climática da área de estudo

O Distrito Federal está situado na região Centro-Oeste do Brasil, entre os paralelos 15°30' e 16°3' e os meridianos 47° 18' e 48°17' a oeste de Greenwich. De acordo com a classificação de Köppen, o clima do Distrito Federal é denominado como tropical de altitude. Amorim e Braga (2004), ressalta que o Distrito Federal apresenta dois períodos bem definidos o quente-úmido, ocorrendo no verão de outubro a abril, marcado por chuvas e o período quente-seco, inverno seco de maio a setembro. Romero (2015) salienta ainda que Brasília no período de chuvas possui clima semelhante à do clima tropical úmido, e no período de seca à do clima tropical seco.

O Setor de Indústrias e Abastecimento (SIA), está localizado ao sudoeste do Plano Piloto, compreende uma área de 100 hectares e fazem parte do setor os trechos de 1 a 17, o Setor de Inflamáveis (SIN) e o Setor de Transporte Rodoviário de Cargas (STRC). A intenção inicial era que a área abrangesse indústrias e edifícios para armazenagem, contudo, hoje na região encontram-se diferentes usos, como áreas residenciais. Segundo Andrade et al. (2000), os problemas urbanísticos surgiram ao mesmo tempo que a área foi expandida, de forma que, locais de apoio aos usuários como praças, e espaços de lazer não foram consolidadas. Andrade et al. (2000), apontam ainda diversos problemas que envolvem o clima urbano da área, como: a alta luminosidade, secura e aquecimento ambiental acima dos níveis desejáveis.

Além disso, a justificativa de escolha da área de estudo se baseia na morfologia urbana, sendo ela predominante pouco compacta, caracterizada por vias largas no sentido Leste-Oeste, Quadro 1, no qual as superfícies mantêm-se expostas a radiação solar ao longo do dia, visto que, as edificações na sua grande maioria não apresentam elementos arquitetônicos que favorecem o sombreamento servindo-se aos pedestres. Romero (2000) aclara que, o desenho urbano nas regiões de clima tropical de altitude deve atentar contra a excessiva radiação solar durante o dia e amenizar o resfriamento durante a noite, afirmando que o traçado compacto seria o mais adequado. Na área, as massas edificadas possuem uma hegemonia no alinhamento das fachadas e nas alturas. A predominância dos ventos no período quente-seco no DF ocorre a Leste, na ausência de barreiras como de vegetação na localidade, o vento seco conduz mais poeira. Para Romero (2000), a existência de edificações contínuas e uniformes, o efeito de canalização dos ventos podem ocorrer, proporcionando incomodo as pessoas, já que a velocidade do ar aumenta e não adentra os edifícios. Diante do exposto, sabe-se que é infactível a morfologia urbana atender todas as necessidades climáticas das regiões de clima tropical de altitude, por isso, a forma e o desempenho das edificações são imprescindíveis para promover boas condições de conforto. (ROMERO, 2000).

Quadro 1: Localização da área de estudo e elementos climáticos atuantes.

Fonte: Autor (2018)

3.2. Escolha do recorte urbano para estudo

Com o propósito de detectar a temperatura superficial e delimitar o recorte da área de estudo para análises microclimáticas no software ENVI-MET, foram feitos estudos de dados orbitais do satélite norte-americano Landsat 8, as imagens foram adquiridas gratuitamente pela internet disponibilizado pelo Serviço Geológico Americano (USGS), neste sentido, selecionou-se as imagens do dia 29 de janeiro de 2017 e do dia 04 de setembro de 2017, correspondendo ao período chuvoso e de seca, conforme observado na caracterização climática deste estudo. A hora da passagem do satélite foi às 13:14h GMT, equivalente às 10:14h do horário de Brasília.

Ribeiro (2009) afirma que o processamento de imagens de satélites é uma prática cada vez mais comum, sendo uma ferramenta muito importante para o planejamento urbano, viabilizando estudos mais conscientes, observando as fragilidades e potenciais da área analisada. Além disso, a utilização das imagens espaciais favorece a possibilidade de percepção da mutabilidade da temperatura superficial e sua correlação com os usos do solo urbano.

O software ArcGIS 10.5, juntamente com a ferramenta ArcMap 10.5, foram utilizados para o processamento das imagens nesta pesquisa. Desta forma, conforme expresso na literatura de Santos et al. (2014), as imagens utilizadas no processamento digital no software ArcGIS 10.5 são provenientes das bandas 2 (azul), 3 (verde), 4 (vermelho), 5 (infravermelho próximo), 8 (pancromática), 10 e 11 (infravermelho termal). Para análises das temperaturas superficiais e mapeamento de ilhas de calor, foram utilizados os métodos dedutivos de estimativa calorífica superficial proposta pela NASA, no qual o sensor infravermelho do Landsat 8 (TIRS) mede a intensidade do fluxo radiante proveniente da superfície terrestre, assim, os redimensionamentos dos dados foram iniciados com a conversão de números digitais para radiância espectral no topo da atmosfera ($L\lambda$), definido na seguinte fórmula: (SANTOS et al., 2014).

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

(1)

Onde:

Lλ = Radiância espectral no topo da atmosfera ($W/m^2 \text{ srad } \mu m$);**ML** = Fator multiplicativo reescalonado da radiância para a banda específica;**Qcal** = Número digital, imagem da banda;**AL** = Fator aditivo reescalonado da radiância para a banda específica.

Logo, com os dados obtidos na primeira fórmula, de acordo com Santos et al. (2014), o seguinte passo é transformar os mesmos dados para reflectância planetária no topo da atmosfera ($\rho\lambda$), com referentes correções da elevação solar por meio da fórmula:

$$\rho\lambda = \rho\lambda' / \cos(\theta SZ)$$

(2)

Onde:

$\rho\lambda$ = Reflectância planetária no topo da atmosfera;

θSZ = Ângulo da elevação solar.

E for fim, aplica-se a fórmula para obter a temperatura radiante, e para conversão da temperatura de brilho em graus Celsius ($^{\circ}C$).

$$Trad = ((K2/\ln((K1/L\lambda) + 1)) - 273,15)$$

(3)

Onde:

Trad = Temperatura de brilho no sensor em graus Celsius ($^{\circ}C$);

K2 = Constante termal da banda específica;

K1 = Constante termal da banda específica;

L λ = Radiância espectral no topo da atmosfera (W/m^2 srad μm).

Como resultado, obteve-se um mapa de temperatura superficial e um mapa de índice de vegetação NDVI (Índice de Vegetação Diferença Normalizada) da área de estudo referente aos dois períodos climáticos representativos, Quadro 02 e 03. Barros e Lombardo (2016), em sua pesquisa sobre a ilha de calor urbana e o uso do solo na cidade de São Paulo, cruzaram dados de índice de área foliar, de temperatura da superfície e diferentes padrões de uso e cobertura do solo, verificando as respostas térmicas e assim entendendo a conformação espacial da ilha de calor, desse modo, concluíram que há uma diferença de temperatura superficial de $8^{\circ}C$, em situações urbanas sem vegetação, ocupadas por atividades industriais, de comércio ou serviços.

Sendo assim, aplicou-se a fórmula abaixo para calcular o índice de vegetação NDVI, segundo Santos et al. (2017).

$$NDVI = B5 - B4 / B5 + B4$$

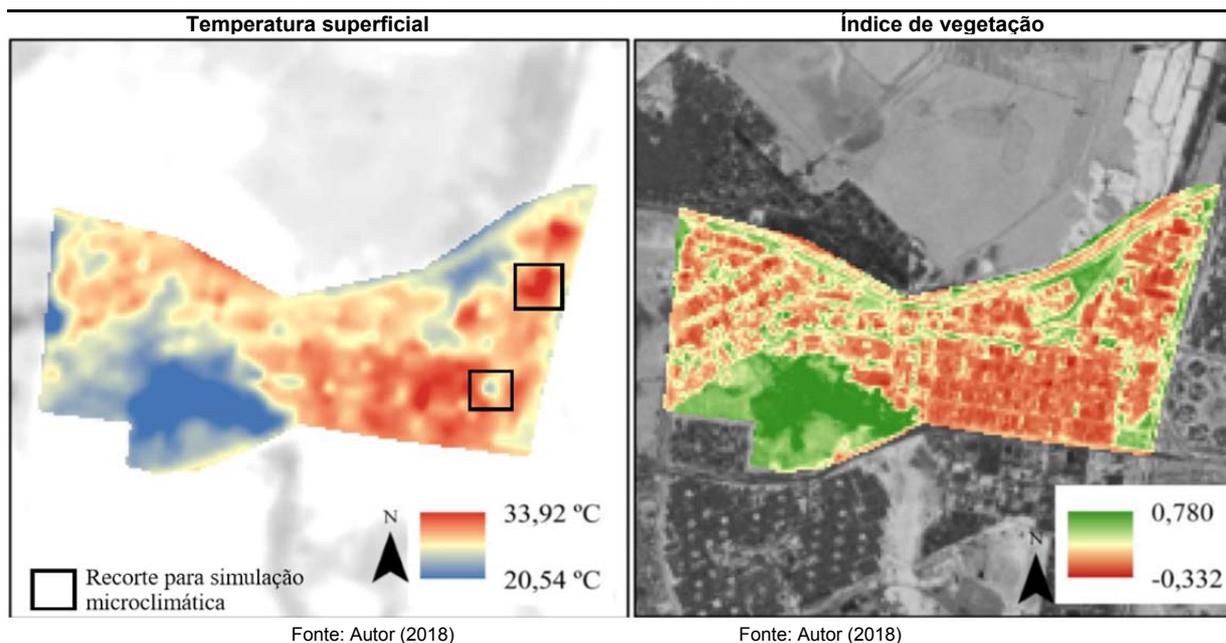
(4)

Onde:

NDVI = Índice de Vegetação Diferença Normalizada;

B4 = Banda espectral do vermelho;

B5 = Banda espectral do infravermelho próximo.

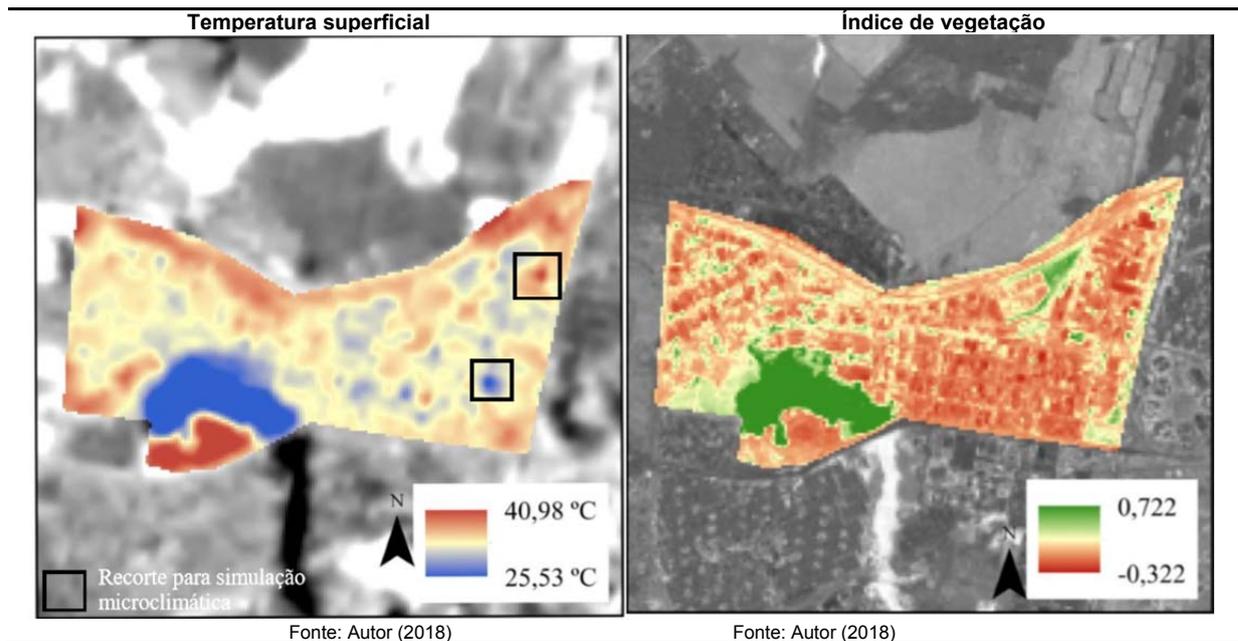
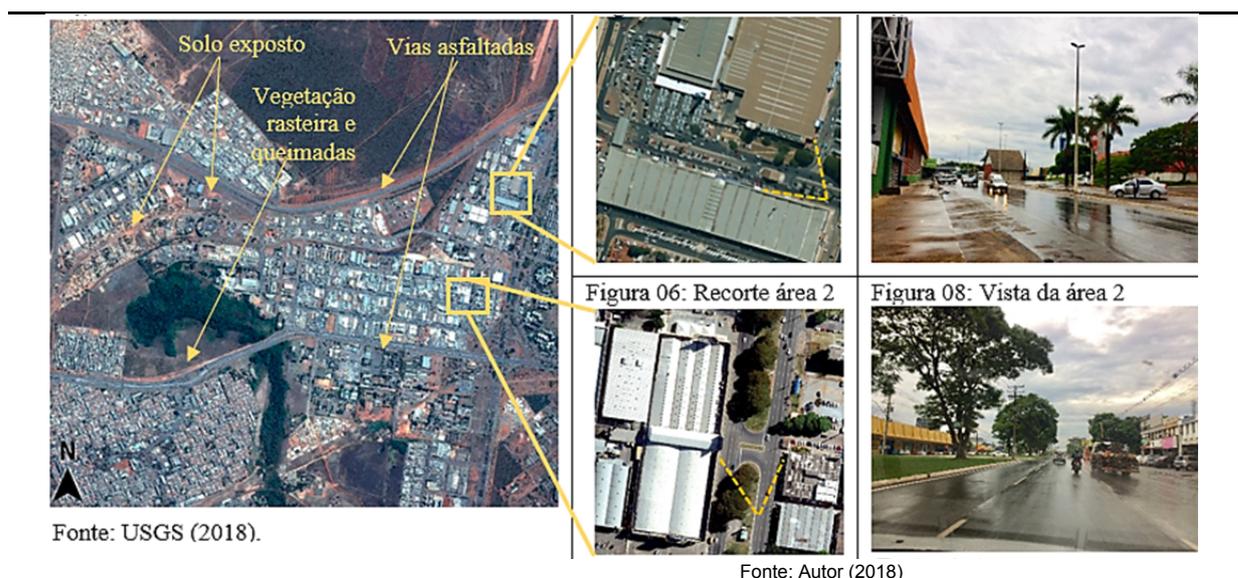
Quadro 2: Temperatura superficial (esq.) e índice de vegetação (dir.) do dia 29/01/2017

Analisando o mapa de temperatura da superfície obtido pelos sensores termais (10 e 11) do Landsat 8, do dia 29/01/2017, Quadro 2, é possível observar maiores temperaturas superficiais nas áreas centrais, ao sul e a leste do SIA, onde ocorre maiores concentrações e adensamento de edifícios, chegando a 33,92°C. É importante destacar ainda, a relação expressiva das áreas com maiores cobrimentos de vegetações, que apresentaram temperaturas menores.

Quanto ao mapa de temperatura superficial de setembro, Quadro 03, este apresentou temperaturas mais altas no entorno do SIA, sendo estas áreas constituídas por largas vias asfaltadas que interligam regiões do Distrito Federal, além disso, foi constatado temperaturas próximas a 40,98°C, em áreas com solo exposto, vegetação rasteira ou queimadas e em coberturas dos edifícios de cores escuras. Em contrapartida, encontrou-se temperaturas amenas em áreas que combinam vegetação e cobertura de edifício com cores mais claras.

Vale ressaltar que o mês de setembro faz parte de um período do ano no DF, definido por quente-seco, sendo assim, está época é marcada por estiagem e baixa nebulosidade, provocada pela escassez de vapor de água na atmosfera, esse fenômeno é consequência da massa quente e seca do ar tropical que vem da extensão paraguaia do Pantanal, essa massa apodera-se do Centro-Oeste impedindo a chegada de frentes frias da Argentina e do Uruguai. (AMORIM e BRAGA, 2004). Desta forma, o minguamento do índice de vegetação da área de estudo do dia 04/09/2017, Quadro 3, comparando com a do mês de janeiro, é justificado pela carência de chuvas, e assim resultando nas respostas espectrais da imagem.

Devido à estes motivos, priorizamos o período quente-seco para realizar os estudos de simulações microclimáticas no software ENVI-MET, versão 4.3.2, pois trata-se de um período com forte incidência de radiação solar, associado à baixa umidade, ocasionando desconforto térmico. (AMORIM e BRAGA, 2004). A escolha dos recortes urbanos no SIA-DF, teve como premissa a variação de temperatura da superfície, no qual, foi selecionado uma área que apresentou temperatura superficial alta nos dois dias representativos do clima do DF e outra área com a temperatura superficial amena, também nos dois períodos descritos. Em razão da baixa resolução da banda termal, não é possível o enquadramento da microescala, pois esta será investigada nas simulações no software ENVI-MET.

Quadro 3: Temperatura superficial (esq.) e índice de vegetação (dir.) do dia 04/09/2017**Quadro 4:** Recortes seleccionados da área de estudo

3.3. Elaboração do modelo para simulação

Conforme apontado no subitem anterior, foram seleccionados para as simulações microclimáticas, o recorte do Trecho 10, representando por área 1, e recorte do Trecho 3, denominado como área 2. Ver Quadro 05 e 06. Desta forma, criou-se modelos tridimensionais correspondentes para as duas áreas, com recorte na proporção da grade para os três eixos (x, y e z) de 2,5m x 2,5m x 2,5m. O tamanho real de cada área é 62.500,00 m² (250m x 250m), correspondente aos modelos de 95 x 95 x 35, (x, y e z). Para isso, primeiro adquirimos as imagens de satélite do Geoportal, para que os dados fossem convertidos em pixels no programa AutoCAD, em seguida, convertidos em arquivos Bitmap para serem inseridos na interface do programa ENVI-MET. De acordo com recomendações de Bruce (2008), foi reservado um espaço equivalente a 5 grades para as áreas de borda do modelo.

Para compor os dados de entrada no software ENVI-MET versão 4.3.2, utilizamos os valores estudados por Silva (2013), Tabela 2, para configuração do PMV.

Tabela 2: Configuração do programa ENVI-MET

Configuração PMV	Dados
Velocidade de caminhada do pedestre	0,03 m/s
Energia e metabolismo do pedestre	116
Índice de percentual de vestimenta	0,5

Fonte: Adaptado Silva (2013)

3.5. Calibração do modelo no ENVI-MET

Com a finalidade de estudar o desempenho microclimático da área de estudo, foi analisado o mês setembro, que retrata a época de seca no Distrito Federal. Desta forma, a configuração climática utilizada no programa foi calibrada baseando-se nos valores pesquisados por Werneck (2018), conforme Tabela 3. Os dados foram extraídos da Estação do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) de Brasília, para compor o arquivo climático do software ENVI-MET, obteve dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, direção do vento, rugosidade da superfície da medição direção do vento, radiação solar, nebulosidade e temperatura do solo. A partir da biblioteca digital da Universidade de Wyoming dos Estados Unidos, referente à estação do Aeroporto Internacional de Brasília, colheu-se dados da umidade específica a 2.500 metros. A efetivação das medições de temperatura, umidade do ar e velocidade dos ventos, nos locais estabelecidos, seguiram parcialmente os horários recomendados pela Organização Meteorológica Mundial, às 12h, 15h, 18h e 21h.

Tabela 3: Configuração do programa ENVI-MET

Dados meteorológicos	Quente-seco
Dia Típico	04/09/2017
Horário de início de simulação	6h
Velocidade do vento a 10m de altura (m/s)	2,56
Direção do vento (0: N/90: L/180: S/270: O)	90
Rugosidade	0,01
Umidade específica topo do modelo (2500 g/kg)	5,59
Temperatura inicial para todas as camadas	298 K
Ajuste no valor da radiação solar	0
Nebulosidade (oitavas) baixas/médias/altas	0/0/0

Fonte: Adaptado Werneck (2018).

3.6. Análise dos resultados

Nesta etapa apresentamos os resultados da calibração realizada para o período quente-seco, assumindo o dia 04 de setembro de 2017 para este estudo. Os dados das simulações foram extraídos para análise comparativa dos resultados das áreas dos recortes, apresentados como área 1 e área 2. Foi utilizado o software LEONARDO, versão 4.3.0, que está incluso no ENVI-MET, para a visualização gráfica dos dados de saída das simulações realizadas. Os horários considerados para que as medições das variáveis microclimáticas ocorressem foram: 12h, 15h, 18h e 21h. Desta maneira, foram analisados nas áreas as variáveis de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, temperatura média radiante (TMR) e PMV.

3.6.1. Temperatura do ar

Romero (2000), aponta que o aumento da temperatura do ar, está relacionado com a radiação solar que é absorvida pelos níveis inferiores da atmosfera, o que depende também da intensidade e da duração da presença do sol na abóbada celeste. Em geral, comparando as duas áreas estudadas, a área 2 apresentou uma redução de temperatura do ar de quase 1°C em relação a área 1. A maior amplitude térmica encontrada na área 1, foi de 2.66°C, no horário de 12h, no qual, a temperatura

mínima apresentou 24.89°C e a máxima 27.55°C. Na área 2, a amplitude térmica foi de 2.92°C, entre a mínima de 26.89°C e a máxima de 23.97°C, também às 12h. Ver Quadro 07.

Na área 1, nota-se um aumento da temperatura ao redor dos edifícios, principalmente nos horários de pico de calor, 12h e 15h, isso se deve pelo baixo albedo das superfícies que tende absorver mais calor, no qual essas áreas estão expostas as radiações solares, sendo que a área apresenta pouca cobertura de vegetação. A área 2, possui edifícios com coberturas de cores claras, porém, não foi verificado um impacto expressivo na redução da temperatura do ar no nível do pedestre, visto que as simulações consideraram 1,50m do solo. A área 2 em especial, foi percebido manchas com redução de temperatura do ar no canteiro central da via, onde está situada as árvores, e as maiores temperaturas foram encontradas nas vias asfaltadas, além disso, entre os edifícios da área 2, a temperatura do ar foi maior, devido a obstrução da circulação dos ventos, que contribuem na redução de temperatura em algumas situações.

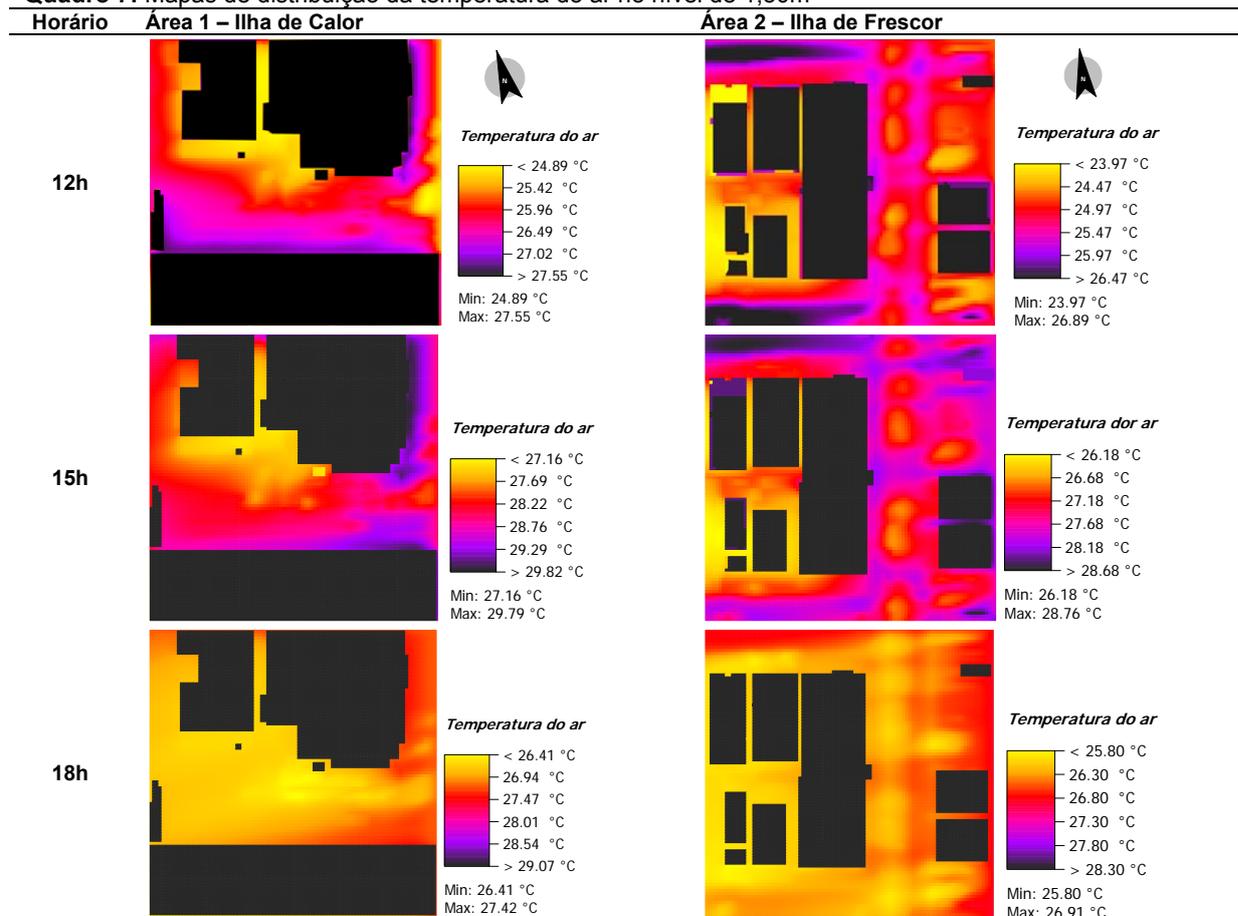
Os resultados das simulações computacionais de temperatura do ar, (Quadro 07) e umidade relativa, (Quadro 08), apresentou valores próximos aos dados climáticos do INMET. (Tabela 4).

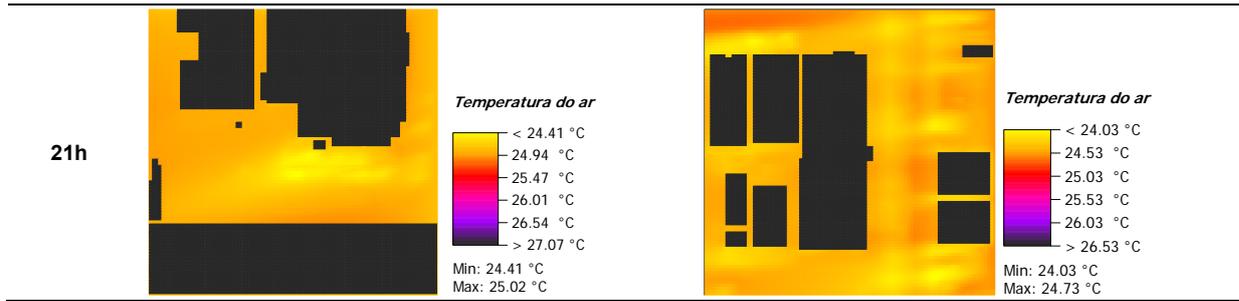
Tabela 4: Temperaturas e umidade relativa do dia 04/09/2017 - INMET

Parâmetros	Temperatura °C	Parâmetros	Umidade Relativa %
Temp. Mínima	23°C	12h	52%
Temp. Máxima	29.3°C	18h	27%

Fonte: INMET (2018)

Quadro 7: Mapas de distribuição da temperatura do ar no nível de 1,50m



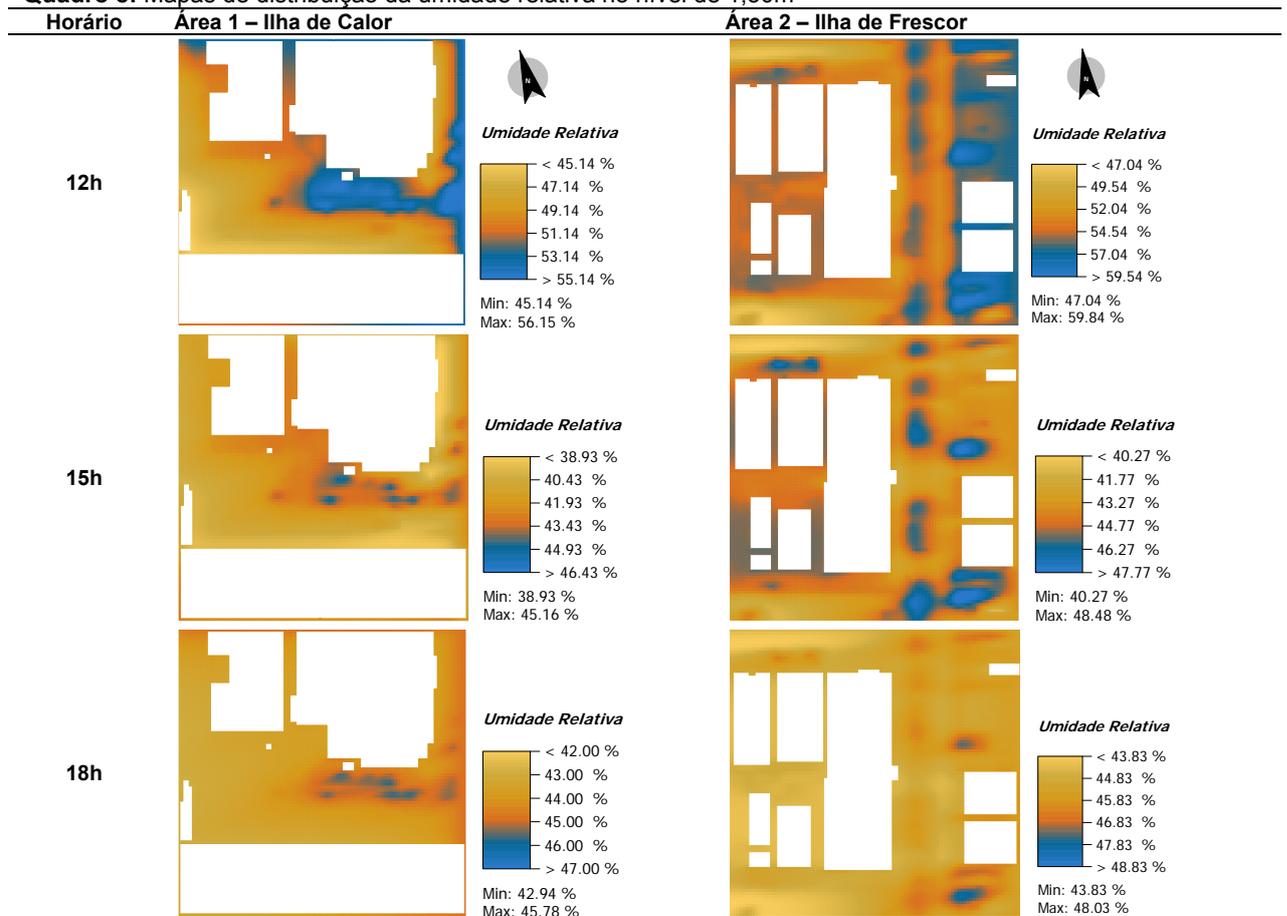


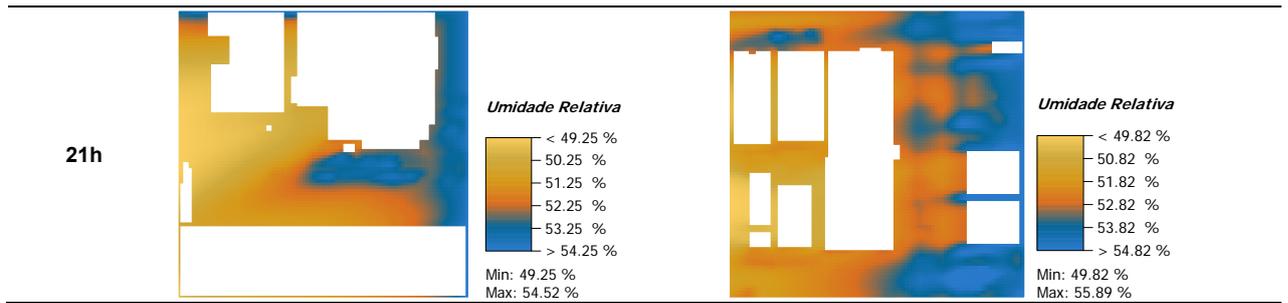
Fonte: Autor (2018)

3.6.2. Umidade Relativa

Na área 1 a umidade relativa apresentou valores entre 38.9% e 56.1%, sendo que na parte da tarde os valores foram menores. Foi observado também, valores maiores de umidade relativa onde se encontram barreiras, e a relação com a direção dos ventos que ocorre à leste. Na área 2, foram encontrados valores da umidade relativa entre 40.2% e 59.8%, de acordo com o padrão da legenda dos mapas, as áreas mais secas, foram encontradas em espaços abertos que são constituídos pelas vias e estacionamentos que tem o asfalto como revestimento. Nos horários considerados para as simulações, foi verificado que a área 2 apresentou valores mais altos de umidade em comparação com a área 1, visto que, a porcentagem de vegetação da área 2 é maior, no qual as árvores contribuem atribuindo ao clima local a evapotranspiração das plantas. Quadro 08.

Quadro 8: Mapas de distribuição da umidade relativa no nível de 1,50m



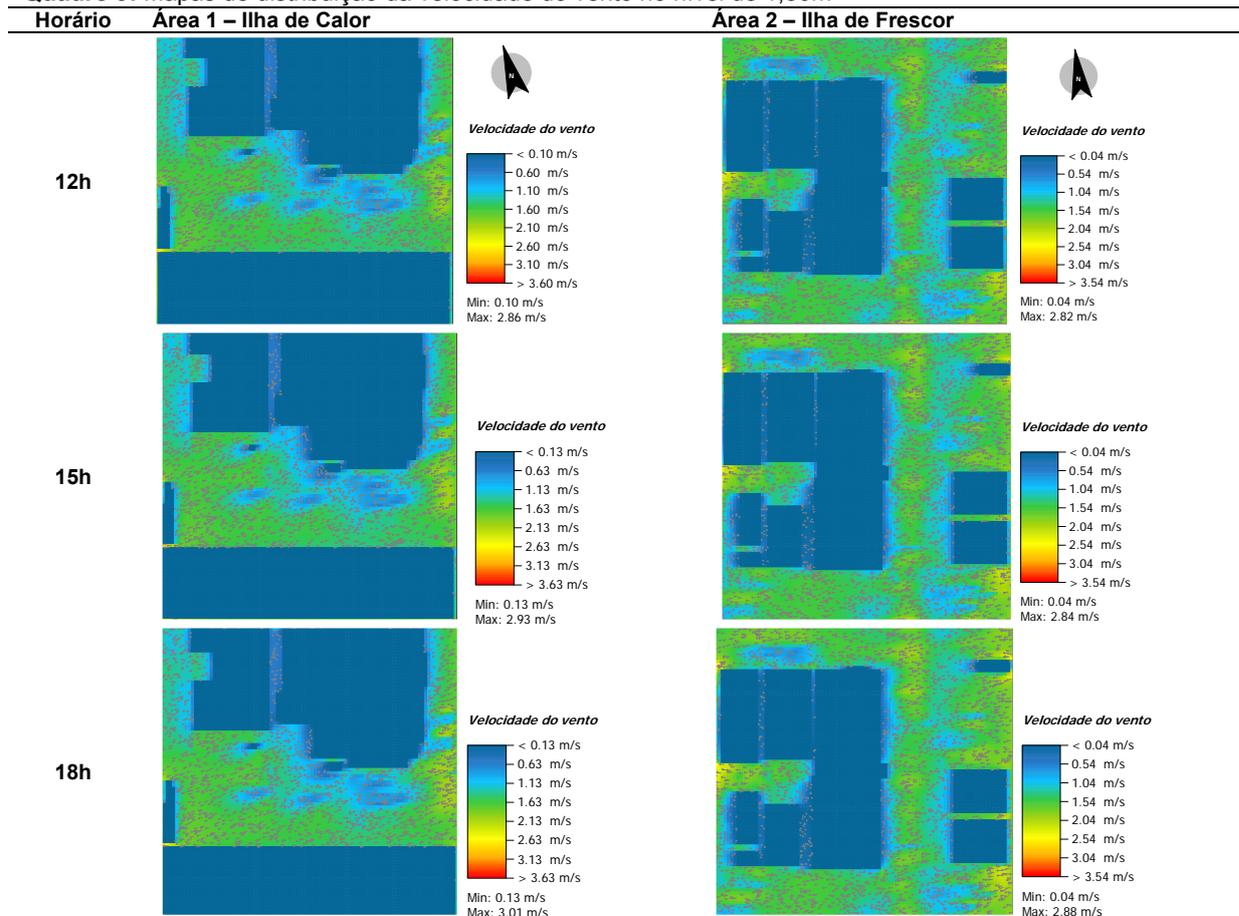


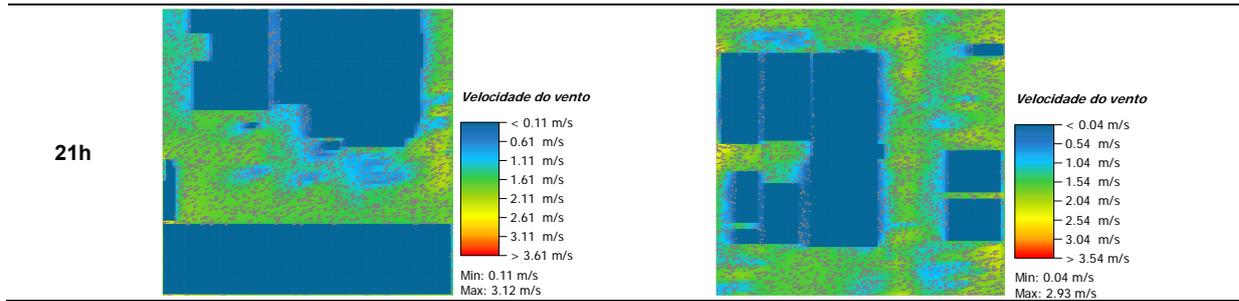
Fonte: Autor (2018)

3.6.3. Velocidade do vento

Segundo Romero (2000), o movimento do ar é causado pelas diferenças de pressão atmosférica, sendo influenciado pela temperatura do ar. A velocidade do vento da área 1, varia geralmente entre 0.10m/s e 3.01m/s. Destaque para os valores maiores nas áreas de aceleração, nas regiões que possuem afunilagem entre um edifício e outro, os valores menores foram encontrados onde há sombras de vento. Na área 2, os valores registrados foram entre 0.04m/s e 2.88m/s, tendo pouca variação de valores entre os horários de 12h, 15h, 18h e 21h. Ver Quadro 10. A incidência dos ventos nos recortes seleccionados, ocorre na diagonal, no sentido Leste-Oeste. Vilas Boas (1983), destaca que a conformação urbana incrementa a rugosidade do solo, criando maior atrito, o que diminui a velocidade do vento.

Quadro 9: Mapas de distribuição da velocidade do vento no nível de 1,50m



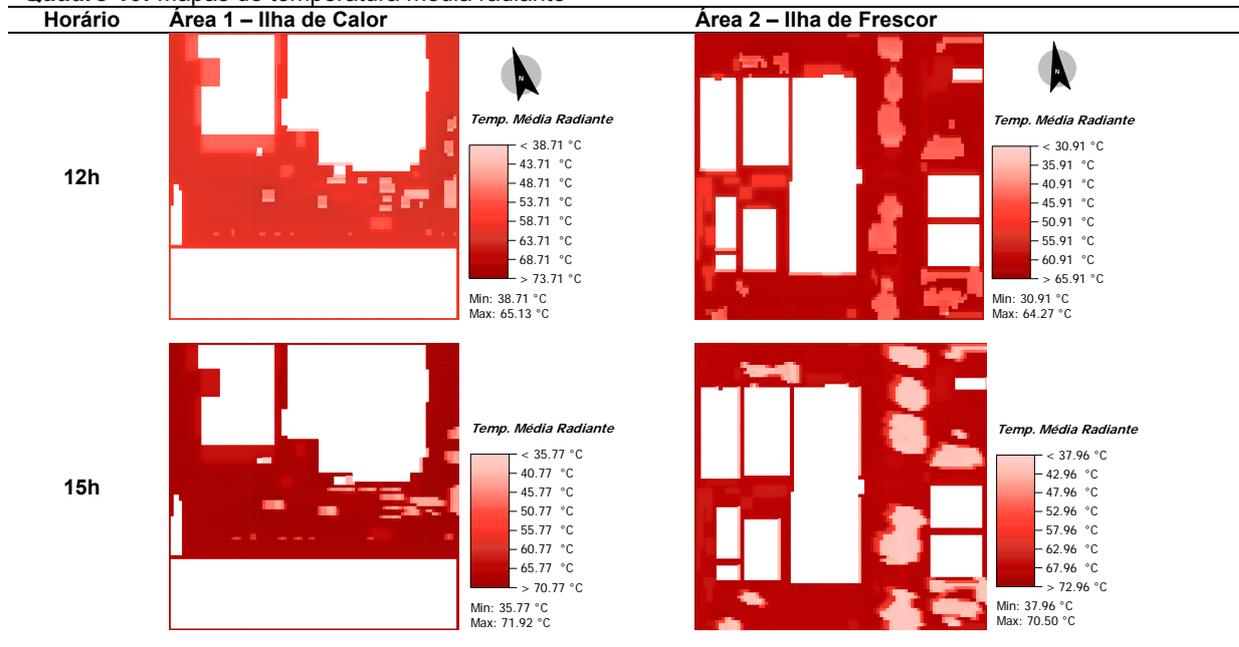


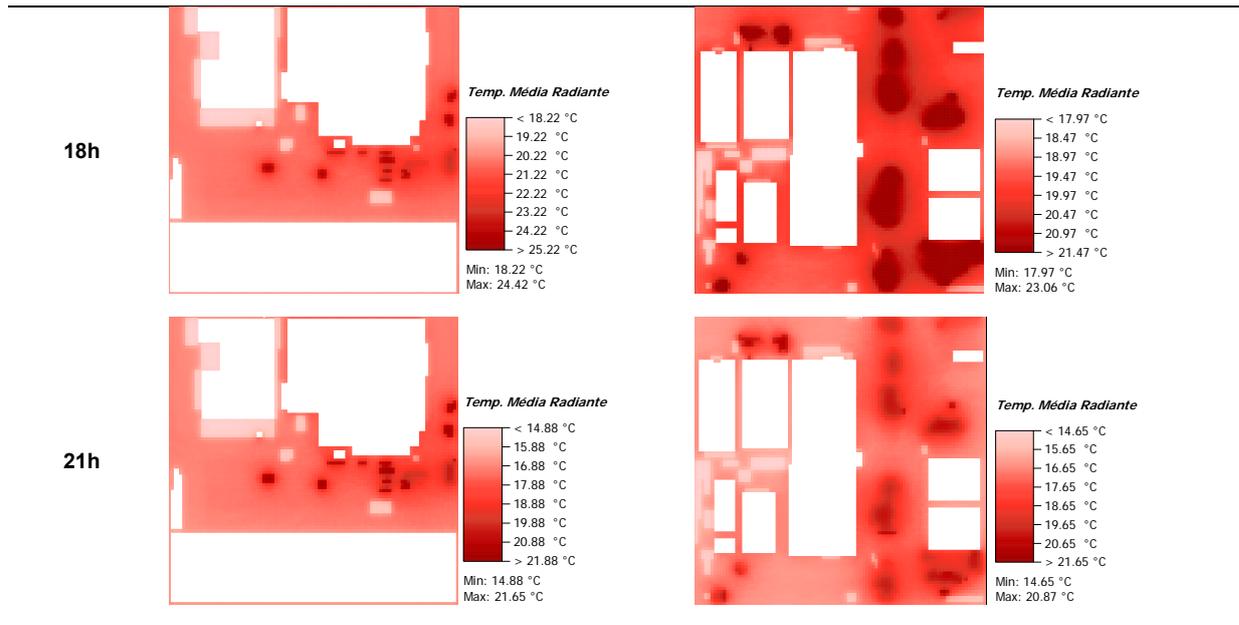
Fonte: Autor (2018)

3.6.4. Temperatura média radiante (TMR)

O PMV de Fanger, índice de avaliação do conforto térmico escolhido para compor os estudos deste artigo, utiliza como parâmetros mínimos para análise do microclima a taxa metabólica corporal, a atividade desempenhada e a temperatura radiante. Desse modo, incluímos mapas de temperatura média radiante para a data determinada. Segundo Campanhoni (2011), a temperatura média radiante é definida pelo valor médio entre a radiação térmica que interfere sobre as superfícies do local, dos objetos e dos seres vivos, realizando troca térmica, onde elas aquecem o ambiente e a radiação é emitida de volta. A norma ISO 7730 (1994), expõem sobre o nível de conforto humano, quando a temperatura está entre 10°C e 40°C. Os valores apresentados nos mapas de temperatura média radiante, Quadro 10, tiveram relação com a incidência de radiação solar direta. A área 2 que apresenta maior área de vegetação, demonstrou claramente um menor valor em graus nas áreas sombreadas, nos horários de 12h e 15h. Quando verificado os mapas das áreas às 18h, houve uma inversão, as áreas sombreadas durante o dia, apresentaram valores maiores às 18h e 21h. Isso reflete que o acúmulo de calor ganho durante o dia, é devolvido para a o ambiente durante as primeiras horas da noite, a retenção de calor nessas áreas são provocadas pelas árvores, de forma que, em ambientes urbanos que possuem vegetação densa, poderá ser um problema se tratando de trocas térmicas.

Quadro 10: Mapas de temperatura média radiante





Fonte: Autor (2018)

3.6.5. PMV

O índice PMV supõe o valor médio dos votos de um grupo de pessoas numa escala com sete pontos numéricos, nela é explanado a satisfação humana em relação ao ambiente térmico, conforme mostra a Tabela 05. De acordo com a norma ISO 7730 (1994), os valores do PMV entre -0,5 e + 0,5 são ambientes considerados ideais.

Tabela 05: Escala de sensação térmica PMV

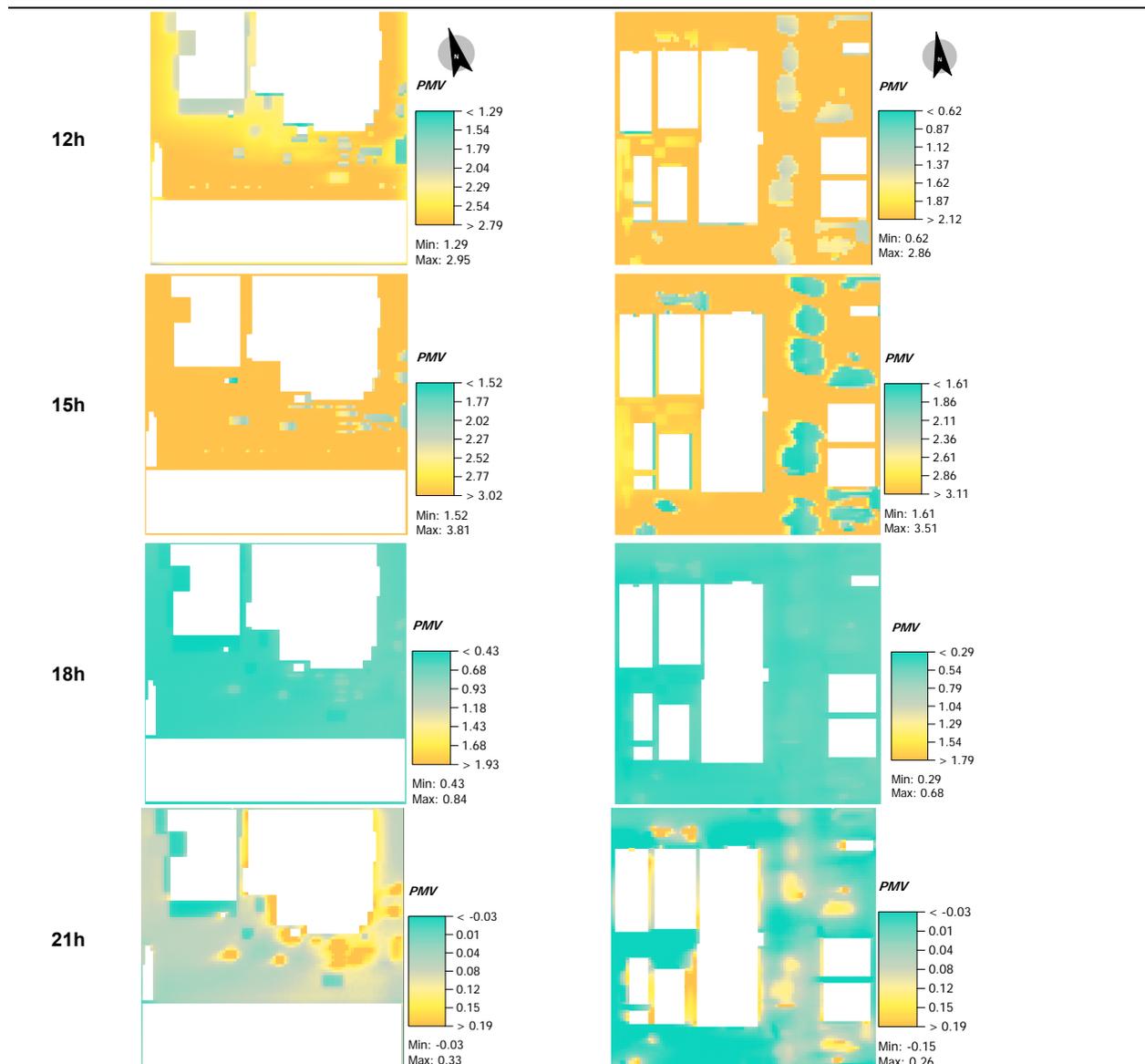
-3	-2	-1	0	1	2	3
Muito frio	Frio	Um pouco de frio	Nem frio - nem calor	Um pouco de calor	Calor	Muito calor

Fonte: Fanger 1970.

Desta forma, foi observado que a área 1 atinge o conforto térmico aos usuários dentro das expectativas da norma ISO 7730 (1994), às 18h e 21h, tornando uma área desconfortável durante todo o dia, pois os valores encontrados foram entre 1 e 3, representando um pouco de calor e muito calor, conforme demonstra o Quadro 11, sendo que os piores índices foram encontrados nas superfícies de concreto e asfalto. É perceptível ainda, a relação dos mapas de PMV com os mapas de temperatura média radiante, no qual, as áreas que demonstraram valores menores, se relacionam com aquelas verificadas no TMR mais baixas. A área 2, apresenta valores mais favoráveis para o índice de conforto térmico às 12h, mostrando zonas com índice entre 0,6 e 2, representando neutralidade e calor em algumas áreas, tendo ligação com áreas onde o solo é gramado e possui árvores. Portanto, os espaços abertos que possuem concreto e asfalto como revestimento das duas áreas, são completamente desconfortáveis para os usuários, representando um estresse de calor nos horários de 12h e 15h.

Quadro 11: Mapas de PMV

Horário	Área 1 – Ilha de Calor	Área 2 – Ilha de Frescor
---------	------------------------	--------------------------



Fonte: Autor (2018)

5. Conclusões

Após a realização das etapas propostas neste trabalho, é possível constatar que quando comparados os recortes estudados do SIA-DF, após a realização das simulações computacionais, em todos os parâmetros climáticos, como temperatura do ar, umidade relativa e temperatura média radiante, a área 2 desta pesquisa, apresentou valores mais benéficos, mostrando assim, que o recorte feito a partir do Landsat 8, como área de temperatura amena, se mostrou condizente com as simulações realizadas no ENVI-MET. Porém, a diferença não é tão expressiva devido os mapas de temperatura do ar nas simulações serem considerados no nível do pedestre, a 1,50m do solo. Diante disso, para maior confiabilidade dos resultados atingidos, e considerando como pesquisa futura, é válido confrontar as simulações microclimáticas realizadas no ENVI-MET, com um estudo de medições do espaço real, com equipamentos específicos, para conferir e atestar os dados obtidos.

Os recortes submetidos às simulações microclimáticas, que dispuseram de resultado das variáveis climáticas específicas, foram relacionadas com o índice de conforto térmico dos usuários para o espaço aberto, pelo qual foi utilizado o PMV, os resultados estão longe de um ambiente confortável, como foi visto nos respectivos mapas, acredita-se, portanto, que a inserção de árvores de forma que protejam da insolação direta as vias asfaltadas e estacionamentos, e a inserção de materiais

superficiais nos espaços urbanos que possuem características de acabamento que privilegiam o ambiente térmico para o benefício do pedestre, podem contribuir positivamente para favorecer as modificações na dinâmica dos parâmetros aqui simuladas, observação que motivaria a produção de outro estudo comparativo específico para a área.

Contudo, as ferramentas utilizadas na produção deste artigo demonstraram uma ampla aplicabilidade, no qual o foco se teve na avaliação microclimática, evidenciando satisfatoriamente as contribuições para o planejamento urbano sustentável. Os resultados alcançados com as imagens termais do satélite Landsat 8, denotam a relação de uso e ocupação do solo com as temperaturas superficiais. Bem como o ENVI-MET, revelou entre os recortes estudados, a contribuição positiva da vegetação da área 2 em relação a área 1, que apresenta índices menores de cobertura vegetal. Portanto, para a redução de etapas no processamento dos dados de todas as ferramentas utilizadas nesta pesquisa, deveriam elas terem uma relação sistêmica, pelo qual, se comuniquem facilmente com a finalidade de se obter estudos mais sólidos em menos tempo.

6. Referências bibliográficas

AMORIM, C. N. D.; BRAGA, D. K. Conforto Térmico Em Edifícios Residenciais Do Plano Piloto De Brasília. **I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. 5a, 2004.

ANDRADE, M.; GERHARDT, S.; PICADO, G.; ROMERO, M. B. Avaliação e intervenção nos espaços públicos baseados em premissas ambientais e tecnológicas. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 8, p. 1447–1454, 2000.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geusp - Espaço e Tempo**, v. 20, n. 1, p. 160–177, 2016.

BRUCE, M. **ENVI-met 4: A microscale urban climate model**.

CAMPANHONI, A. **Implantação dos edifícios Águas Claras - DF: Influência no desempenho térmico ambiental dos espaços abertos**. Brasília: Universidade de Brasília, 2011.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort – Analysis And Applications in Environmental Engineering**. McGraw-Hill Book Company. New York, 1970.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. RAMOS. **Manual de Conforto Térmico**. 5a ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3a ed. Rio de Janeiro: Eletrobras, 1997.

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

LYNCH, K. **Planificación del Sitio**. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.

MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. D. F. **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003.

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

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Procedimentos para quantificação de variáveis para análise termofisiológica em espaços abertos. **VIII Encontro Nacional E Iv Encontro Latino-Americano Sobre Conforto No Ambiente Construído**, n. 1, p. 1231–1240, 2005.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. Conforto Térmico em Espaços Abertos Com Diferentes

Abrangências Microclimáticas. Parte 2. **ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, n. 1, p. 1221–1230, 2007.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO EM ESPAÇOS URBANOS ABERTOS. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 4, n. 2, 26 jan. 2010.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. London; New York: Routledge, 1987.

OLGYAY, V. **Design With Climate. Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Ed., 4th ed. New Jersey. U. S. A.: Princeton University Press, 1963.

RIBEIRO, R. J. DA C. Análise Espacial em Apoio à Reabilitação e ao Planejamento Urbano. In: ROMERO, M. B. (Org.). **Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística**. Brasília: FAU/UnB, 2009.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. 2a ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2000.

ROMERO, M. A. B. Correlação entre o Microclima Urbano e a Configuração do Espaço Residencial de Brasília. **Fórum Patrimônio**, v. 4, p. 9–22, 2011.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. 4a ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2015.

SANTOS, A. R. DOS.; EUGENIO, F. C.; SOARES, V. P.; MOREIRA, M. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; BARROS, K. de O. **Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2 Passo a Passo: Processamento de Imagens Orbitais – Volume 1**. Alegre: CAUFES: 2014.

SANTOS, M. M.; MACHADO, I. E. S.; CARVALHO, E. V.; VIOLA, M. R.; GIONGO, M. Estimativa de parâmetros florestais em área de cerrado a partir de imagens do sensor oli landsat 8. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 75–84, 2017.

SILVA, C. F. E. **O Conforto Térmico de Cavidades Urbanas: Contexto Climático do Distrito Federal**. Brasília. PPG FAU. Universidade de Brasília, 2013.

SILVA, C. F. E.; ROMERO, M. A. B. O Desempenho Ambiental De Vias Arborizadas Na Cidade De Teresina Por Meio De Dados Sensoriais , Microclimáticos E Simulações Computacionais Com O Auxílio Do Envi-Met . **X Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. X ENCAC.**, p. 573–582, 2009.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. DE M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, n. Iii, p. 3911–3918, 2005.

VILLAS BOAS, M. Considerações sobre urbanização e meio ambiente físico. Módulo de ensino 2. **Curso de especialização sobre controle do ambiente em arquitetura**. Brasília, CAPES-MEC, 1983.

WERNECK, D. R. **Estratégias de mitigação das ilhas de calor urbanas: estudo de caso em áreas comerciais em Brasília–DF**. Brasília. PPG FAU. Universidade de Brasília, 2018.