

Autorização concedida a Biblioteca Central da Universidade de Brasília pela doutoranda Daniela Rocha Werneck, em 22 de agosto de 2022, para disponibilizar a obra, gratuitamente, de acordo com a licença conforme permissões assinaladas, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da obra, a partir desta data.

A obra contémua protegida por Direito Autoral e/ou por outras leis aplicáveis. Qualquer uso da obra que não o autorizado sob esta licença ou pela legislação autoral é proibido.

#### Referência

WERNECK, Daniela Rocha; ROMERO, Marta Adriana Bustos. Análise de microclimas urbanos orientada à mitigação de ilhas de calor em áreas de comércio local do plano piloto de Brasília/Brasil. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 8., 2018. Coimbra, Portugal. **Atas** [...]. Coimbra, Portugal: Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, 2018. Disponível em: <http://www.pluris2018.com/pt/show/60>. Acesso em: 31 ago. 2022.



**ANÁLISE DE MICROCLIMAS URBANOS ORIENTADA À MITIGAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM ÁREAS DE COMÉRCIO LOCAL DO PLANO PILOTO DE BRASÍLIA-BRASIL.**

**Daniela Rocha Werneck**

Universidade de Brasília

*daniela.werneck@gmail.com*

**Marta Adriana Bustos Romero**

Universidade de Brasília

*romero@unb.br*



## **ANÁLISE DE MICROCLIMAS URBANOS ORIENTADA À MITIGAÇÃO DE ILHAS DE CALOR EM ÁREAS DE COMÉRCIO LOCAL DO PLANO PILOTO DE BRASÍLIA-BRASIL**

**D. R. Werneck, M. A. B. Romero**

### **RESUMO**

Este estudo analisa estratégias de mitigação de ICU em áreas de comércio local do Plano Piloto de Brasília – Brasil. Os procedimentos metodológicos se baseiam em revisão de literatura, análise de sombreamento com o programa Ecotect 5.5, análise relação W/H e simulação microclimática com o programa ENVI-met 4.2 Três cenários de mitigação foram simulados com uso de materiais frios e vegetação para análise de impacto na temperatura do ar, temperatura de superfície e temperatura média radiante. Os resultados mostraram uma redução média máxima de  $-0,38$  °C na temperatura do ar, evidenciando que as estratégias mitigadoras tiveram maior impacto na redução pontual da temperatura do ar que, foi de no máximo  $-1,13$  °C. A estratégia que combinou pavimentos frios e sombreamento com arborização respondeu melhor à variação da temperatura média radiante. Já o cenário com coberturas frias teve um impacto muito pequeno na redução da temperatura do ar no nível do pedestre nas condições analisadas.

### **1 INTRODUÇÃO**

Os padrões de desenvolvimento urbano produzem impactos relacionados ao clima urbano, destacando o fenômeno de ilha de calor urbana (ICU) que se caracteriza por áreas urbanas mais aquecidas que a vizinhança menos urbanizada e rural (LOMBARDO, 1985; GARTLAND, 2010; STEWART e OKE, 2012). As propriedades térmicas dos materiais juntamente com características da malha urbana como rugosidade, geometria, impermeabilização do solo e a ação antropogênica contribuem para alterações no clima local em direção de uma condição climática potencialmente mais quente. O fenômeno pode ser observado na superfície e na atmosfera urbana e seus efeitos negativos incluem baixa qualidade do ar, aumento consumo de energia para resfriamento das edificações, doenças respiratórias e baixa produtividade (GARTLAND, 2010).

Em Brasília, Baptista (2010) analisou a evolução da temperatura utilizando técnicas de sensoriamento remoto por meio de imagens termais de satélite entre os anos de 1984 e 2001. O pesquisador observou na comparação desses anos um aumento médio de  $2^{\circ}\text{C}$  da temperatura de superfície e salientou que a relação entre o aumento de temperatura e o crescimento urbano é verificada em diversas áreas. Vianna e Romero (2016) também utilizaram o sensoriamento remoto para analisar a formação de ICU em Brasília por meio de uma análise quantitativa com gráficos de temperatura da superfície urbana e correlacionaram qualitativamente com as atividades humanas e uso do solo, enfatizando a necessidade de estudos individualizados para as cidades.

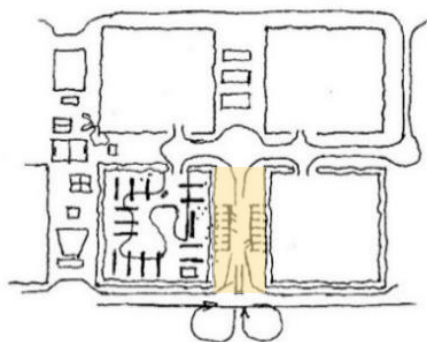
O desenvolvimento de estratégias de mitigação de ICU dependem do grau de certeza dos métodos de identificação, que incluem uma combinação de complexos fenômenos interagindo em diversas escalas, desde a escala humana até a escala da cidade e a regional (MIRZAEI, 2015). Pensando-se na escala de análise mais próxima da vida cotidiana, evidenciam-se os estudos de microclimas urbanos, que podem ser entendidos como a alteração do clima de uma área constituída pela influência do ambiente natural e construído (ROMERO, 2011). Os microclimas formam o entorno imediato de pessoas na cidade e exercem grande impacto em seu bem-estar. Mirzaei (2015) aponta que as estratégias mais estudadas para mitigação de ICU incluem ventilação urbana e alteração dos materiais de recobrimento do solo por materiais frios e por espaços verdes visando melhorar o conforto dos pedestres e reduzir a demanda energética dos edifícios.

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 mitigadoras 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).

Nesse sentido, a preocupação com o ambiente térmico é relevante. O objetivo deste trabalho é estimar o potencial de estratégias de mitigação de ilhas de calor com uso de vegetação e materiais frios com diferentes valores de refletância e emitância térmica em pavimentos e coberturas dos edifícios, avaliando o impacto na temperatura do ar, temperatura de superfície e temperatura média radiante em áreas de comércio local no Plano Piloto de Brasília.

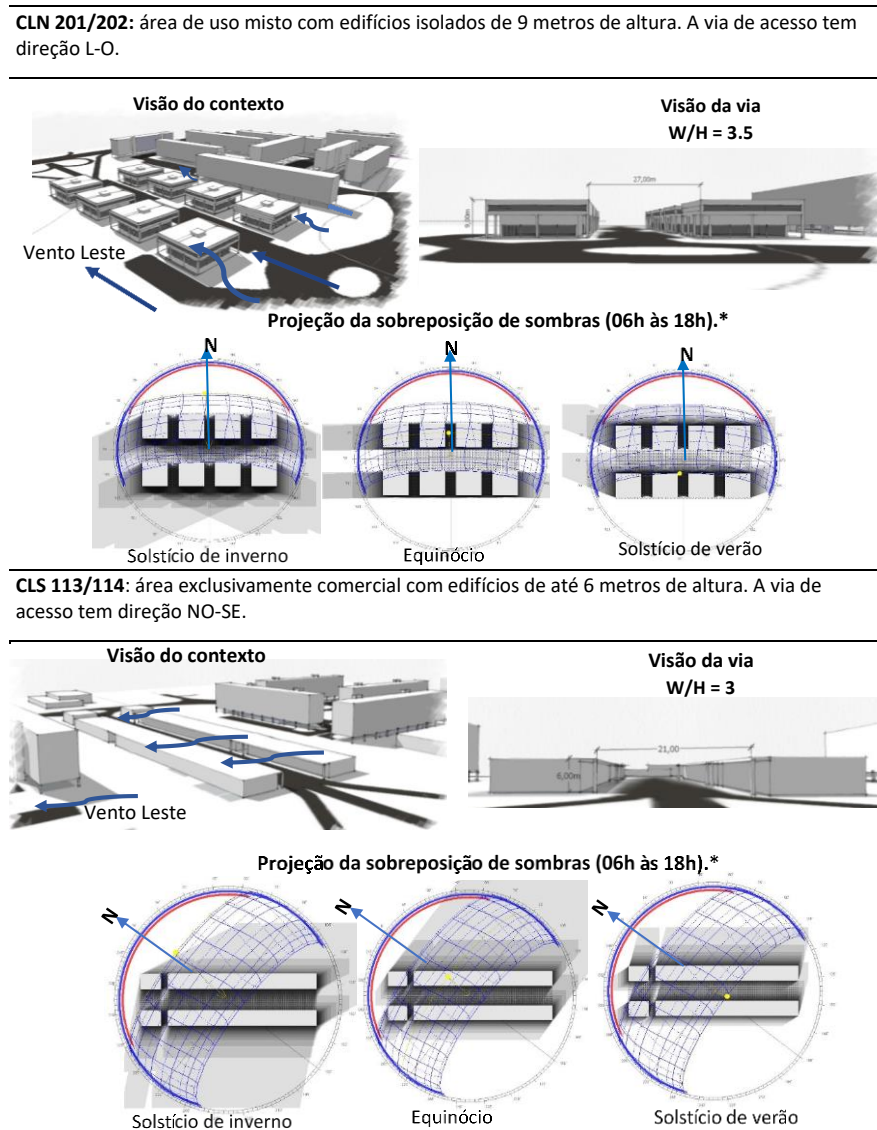
## 2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO CLIMÁTICO

Brasília é a maior cidade do mundo que não existia no início do século XX (UN-HABITAT, 2013), com uma população estimada de 3.039.444 habitantes (IBGE, 2017), evidenciando um rápido crescimento populacional e conseqüentemente a expansão urbana. A cidade ocupa a posição de terceira maior do Brasil com uma densidade demográfica de 524,29 hab/km<sup>2</sup>. Em seu Plano Piloto, patrimônio mundial da Unesco, foram projetadas áreas de comércio local com o propósito de abastecer os moradores com itens cotidianos em um pequeno comércio voltado para as superquadra (Figura 1).



**Fig. 1 Desenho de Lucio Costa para o comércio local (destaque). Imagem disponível em: <http://www.itaucultural.org.br/explore/blogs/rumos-2/rumos-2013-2014-lucio-costa-o-pai-da-moderna-arquitetura-brasileira-e-sua-confianca-inabalavel-no-pais>**

O comércio local sul – CLS é caracterizado por blocos alongados com passagens cobertas para pedestres ligando o comércio ao interior da superquadra. O comércio local norte – CLN possui blocos isolados com subsolo, um pavimento de lojas, sobrelojas e um pavimento residencial. Sendo assim, foram escolhidas para este estudo duas áreas que representam cada uma dessas configurações, que podem ser observadas na Figura 2. Um estudo de sombreamento de cada área foi realizado com o programa Ecotect versão 5.5 e observa-se que o CLN 201/201 possui uma orientação Leste-Oeste que propicia que a via receba radiação solar direta com menor interferência de sombreamento das edificações quando comparada à CLS 113/114, que possui orientação Noroeste-Sudoeste.



**Fig. 2 Esquematização das áreas de comércio local sul(113/114) e norte (CLN201/202)**

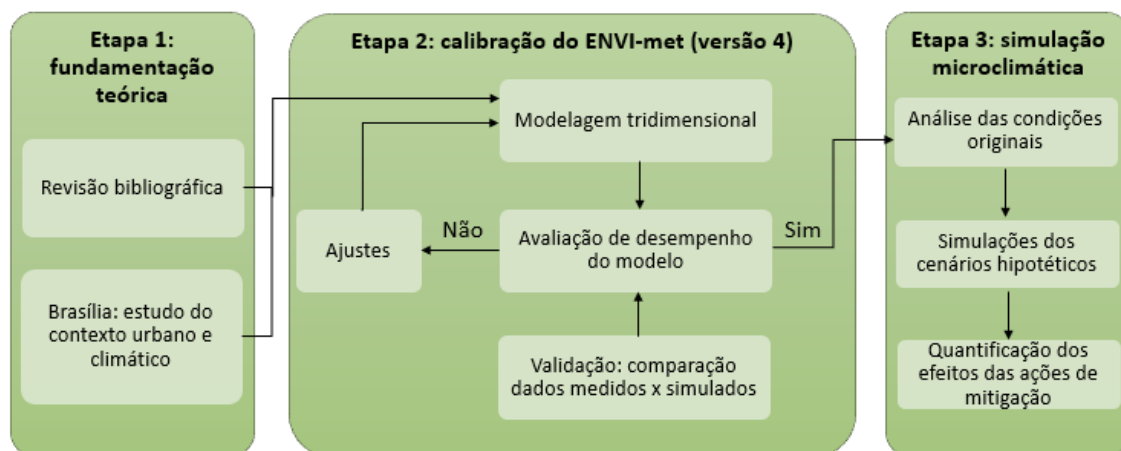
Quanto ao contexto climático, a cidade está localizada na região Centro-Oeste do Brasil, entre os paralelos 15°30' e 16°03' e os meridianos 47°18' e 48°17' (oeste de Greenwich) e aproximadamente 1.070 metros acima do nível do mar. Apresenta o clima Tropical Brasil Central (IBGE, 2017) e Aw na classificação climática de Köppen-Geiger com duas

estações com características distintas: temporada quente e úmida de outubro até abril e temporada 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 50%. Foi incorporado nesse estudo o mês de setembro para as simulações microclimáticas como representativo do período quente e seco, caracterizado por condições de céu claro que favorecerem altas temperaturas.

### 3 MÉTODOS

A pesquisa ocorreu em três etapas (figura 3). A etapa inicial compreendeu a fundamentação teórica. Na segunda etapa foi realizada a validação do programa ENVI-met versão 4.2, desenvolvido para análise de microclimas urbanos a partir de modelagem holística tridimensional. Foi empregado o método de comparação dos dados medidos em campo (temperatura do ar e umidade relativa do ar) com os simulados. Para tal foram realizadas duas campanhas de medição dos dados microclimáticos para representar o período quente-seco de Brasília. Após ajustes dos dados meteorológicos, o ENVI-met 4.2 foi validado para a pesquisa e prosseguiu-se para a etapa final de simulações dos cenários de mitigação de ICU.



**Fig. 3 Fluxograma das etapas do trabalho**

Foi denominado o cenário 0 como controle, para qual foram simulados os materiais de superfície originais das áreas de estudo. Posteriormente foram implementados cenários hipotéticos com uso de materiais frios (alta refletância e emitância térmica) na cobertura e pavimentos e arborização. Para uma análise comparativa, três parâmetros foram extraídos para avaliar o efeito de cada estratégia: temperatura do ar, temperatura de superfície e temperatura média radiante (TMR). O parâmetro de temperatura de superfície foi abordado em função da alteração do albedo e emitância térmica propostos pelos materiais frios. A temperatura do ar e TMR foram escolhidas por constituírem parâmetros que influenciam o equilíbrio térmico humano e assim relacionados ao conforto térmico.

Para esse propósito, valores médios de cada parâmetro foram calculados considerando os resultados de todas as grades referentes às ruas e entorno das edificações, em um plano de corte de 1,50 metros acima do solo, no nível do pedestre. Foram destacados três horários para a investigação em função dos resultados encontrados serem mais representativos: 12h e 15h (condições de insolação no período da manhã e tarde respectivamente) e 20h (duas horas após o pôr-do-sol). As etapas de validação e simulação dos cenários hipotéticos serão detalhadas nos itens seguintes.

### **3.1 Simulação microclimática com ENVI-met 4: validação**

Foi realizado um estudo piloto para fins de calibração do programa, estabelecendo-se um recorte na unidade de vizinhança do CLN201/202, cujas características principais cobrem diversos tipos de materiais urbanos: praça com áreas vegetadas, calçadas de concreto, rua com pavimento asfáltico, estacionamento aberto e edificações residenciais com três pavimentos sobre o piloti e alguns com garagem subterrânea.

Foi utilizado um registrador com sensor integrado de temperatura do ar modelo HOBO MX100 para ambiente externo do fabricante Onset com precisão de  $\pm 0,5$  °C para levantamento dos dados de temperatura do ar. O registrador de temperatura do ar foi instalado em um abrigo meteorológico indicado para evitar radiação solar direta a uma distância de 1,8 metros em relação ao solo. Essa altura segue a recomendação da WMO (*World Meteorological Organization*), que recomenda que o sensor de temperatura deve estar exposto a uma altura de 1,25 a 2,0 metros em relação ao solo, pois um alto gradiente de temperatura pode existir em camadas mais baixas da atmosfera.

Criou-se um modelo tridimensional correspondente ao local selecionado com proporção da grade para os três eixos (x, y e z) de 2,5 m x 2,5 m x 3 m. O tamanho real da área é 35.200,00 m<sup>2</sup> (220 m x 160 m), equivalente ao modelo de 88x64x30. Para minimizar os efeitos de bordas que podem interferir nos resultados, foi reservado um espaço equivalente a 5 grades em torno do modelo. Em seguida foram identificadas as áreas ocupadas por edificações, características dos materiais das superfícies e vegetação. A definição dos valores de albedo para as paredes e cobertura dos edifícios foi por aproximação das propriedades térmicas compatíveis com as observações no local.

A tabela 1 contém a síntese dos dados de entrada utilizados para a simulação referentes ao período quente-seco. Os valores de temperatura do ar e umidade relativa são provenientes da estação meteorológica do INMET localizada no Plano Piloto, assim como a direção do vento e a velocidade, para qual foi assumido o valor médio para Brasília de acordo com o mesmo instituto, pois a média diária estava elevada e poderia comprometer os resultados. Os dados de temperatura e umidade do solo foram extraídos da pesquisa de Silva *et al.* (2015) que realizaram experimentos de medições no Campus da Universidade de Brasília. O dado de umidade específica no topo do modelo foi extraído do banco de dados da Universidade de Wyoming referente ao horário disponível de 12Z (equivalente às 9h para Brasília). O programa ainda permite a inserção de dados relativos à turbulência e LBC – Lateral Boundary Conditions. Na ausência desses registros optou-se por manter as condições padrões. A simulação teve uma duração de 46 horas sendo que as 20 primeiras horas são recomendadas para estabilização dos dados. O horário inicial da simulação foi 6:00h.

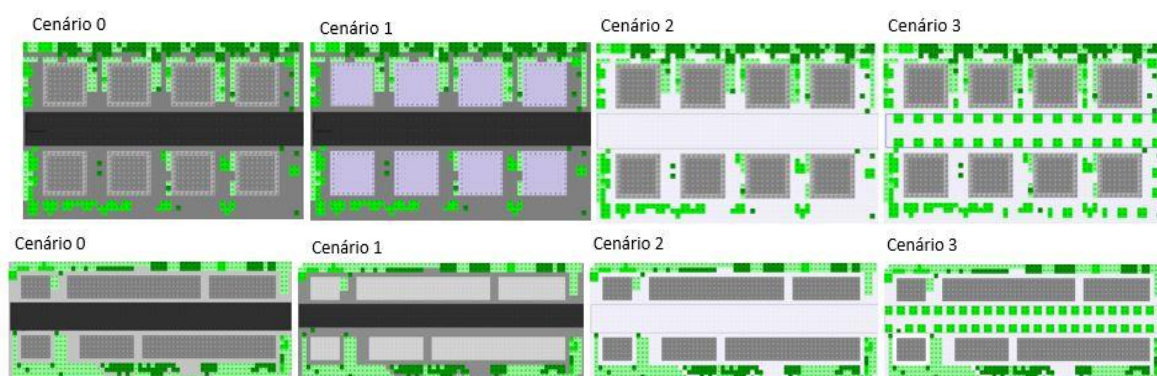


**Tabela 1 – Configuração no ENVI-met dos dados climáticos**

Dados climáticos	Inicial – 04/09/2017	Ajustes – 04/09/2017
Velocidade do vento a 10m de altura (m/s)	2,56	2,5
Direção do vento (0: N/90: L/180: S/270: O)	90	90
Rugosidade	0,01	0,01
Umidade específica no topo do modelo (2500 g/kg)	5,59	5,59
Umidade relativa (min./hora) e (máx./hora) – <i>simple forcing</i>	Dados horários INMET	Dados horários INMET
Temperatura do ar (min./hora) e (máx./hora) – <i>simple forcing</i>	Dados horários INMET	Dados horários INMET acrescidos de 3° C entre 11h e 15h
Ajuste no valor da radiação solar	0	0
Nebulosidade (oitavas) baixas/médias/altas	0/0/0	0/0/0
Temperatura inicial para todas as camadas	298 K	298 K
Umidade relativa camada superficial (0-20 cm) / (20-50 cm)	18 %	18 %
Umidade relativa das demais camadas abaixo de 50 cm	21 %	21 %

### 3.2 Simulação microclimática dos cenários hipotéticos

Os cenários hipotéticos foram propostos com uso de materiais frios para cobertura e pavimentos, além de um cenário combinando pavimentos frios e arborização. Dessa forma investigou-se as estratégias de mitigação de ICU tendo como base um cenário com as características originais das áreas (cenário 0). As modelagens no ambiente do ENVI-met 4 estão detalhadas na figura 4.



**Fig. 4 Modelagens dos cenários de mitigação do CLN201-201 (acima) e do CLS 113/114 (abaixo)**

#### Cenário 0: caso controle

O cenário 0 foi construído com as características originais observadas nas áreas de estudo. As vias são asfaltadas e as calçadas constituídas de concreto e variações de materiais como pedra portuguesa (branca e preta) e intertravados de concreto. Como o modelo é uma representação simplificada, os materiais de paredes e coberturas são iguais para todas as edificações, compreendendo valores médios. Na tabela 2 estão sumarizados os dados de entrada no ENVI-met para configuração do cenário controle.



**Tabela 2 – Configuração no ENVI-met dos dados correspondentes à caracterização original das áreas de estudo**

Dados gerais do cenário 0	Valores
Edificações: Albedo das paredes	0,40
Albedo das coberturas	0,30
Calçadas: Albedo/Emissividade	0,30/0,90
Vias: Albedo/Emissividade	0,20/0,90
Vegetação	LAD (perfil vertical)
Gramma (GG) – altura = 50 cm	-
Árvore densa (T1) – altura = 10 m	0,0/ 0,0/2,18/2,18/2,18/2,18/2,18/2,18/1,72
Palmeira (PW) - altura = 15 m	0,0 (x13) ... 0,5/0,6

### **Cenário 1: coberturas frias**

O cenário 1 foi elaborado um material frio nas coberturas das edificações. As áreas relativas às construções nos recortes estudados que potencialmente podem empregar essa tecnologia de resfriamento equivalem a 25% no CLN e 26% no CLS. Dentro do ambiente de modelagem e edição de banco de dados do ENVI-met 4, as características da cobertura foram alteradas para refletância igual a 0,70 e emissividade (ondas longas) igual a 0,90. Segundo Gartland (2010, p.76) valores de refletância acima de 65% são adotados pelo programa *Energy Star* dos Estados Unidos como condição mínima para telhados frios de baixa inclinação. O valor de refletância de 0,70 adotado neste trabalho foi baseado em produtos encontrados no mercado brasileiro.

### **Cenário 2: pavimentos frios**

O cenário 2 foi elaborado com implementação de materiais frio nos pavimentos. As áreas relativas às calçadas e vias nos recortes estudados equivalem a 46% no CLN e 32% no CLS. Os valores de refletância foram alterados no ENVI-met 4 mantendo valores mais altos nas vias para circulação e automóveis e estacionamentos para fins de implicações no conforto luminoso. Segundo Gartland (2010, p.113), pavimentos frios de concreto podem ter refletância variando entre 40 a 80%. Dessa forma, alterou-se o albedo das calçadas de concreto de 0,30 para 0,50 e das vias asfaltadas de 0,20 para 0,60.

### **Cenário 3: pavimentos frios e arborização**

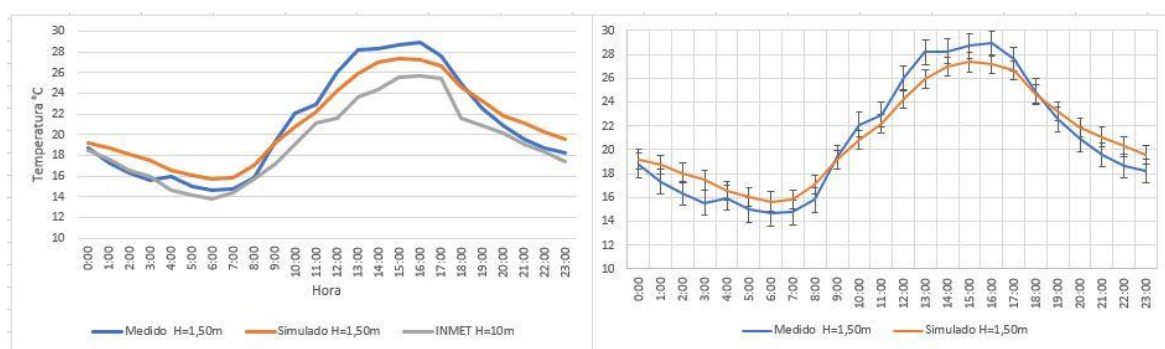
O cenário 3 foi elaborado para estudar a combinação de técnicas do pavimento frio utilizado no cenário 2 com o sombreamento das superfícies por meio de vegetação. Foi acrescentado no banco de dados de plantas uma espécie utilizada para arborização urbana no Brasil, a espécie oiti (*Licania tomentosa*), com densidade de área foliar igual a 0,98 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Comparando com o banco de dados de vegetação do ENVI-met 4, essa densidade pode ser considerada média. Foi admitida uma distribuição uniforme do LAD, iniciando a distribuição da densidade a partir de 3 metros de altura para não obstruir o fluxo de vento na altura do pedestre.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A validação do desempenho do modelo foi necessária antes de prosseguir para as simulações dos cenários hipotéticos. Uma análise comparativa foi conduzida entre dados de temperatura do ar medidos em campo e simulados no ENVI-met. A figura 5 apresenta

as curvas de comparação após o ajuste implementado já demonstrado (tabela1). É notório o gradiente de temperatura do ar entre a estação meteorológica e a área de medição no período da tarde quando há maior disponibilidade de radiação solar, contribuindo para ocorrência de temperaturas mais elevadas na área de estudo. A maior diferença entre a medição em campo e a simulação da temperatura do ar foi às 13 horas, registrando um  $\Delta T$  ( $T_{\text{medição}} - T_{\text{simulação}}$ ) de 3,44 °C.

Para validação com uma análise estatística foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ) que varia de -1 a 1 e reflete a intensidade de uma relação linear entre duas variáveis. Nessa análise o valor encontrado foi de 0,97, um resultado satisfatório entre as duas séries. No prosseguimento do trabalho, essa curva de dados foi utilizada para a configuração climática para as análises de melhoria do ambiente térmico dos cenários hipotéticos para esse período do ano pois apresentou melhor desempenho.



**Fig. 5 Gráfico da comparação entre dados de temperatura do ar medidos e simulados para o período quente-seco de Brasília**

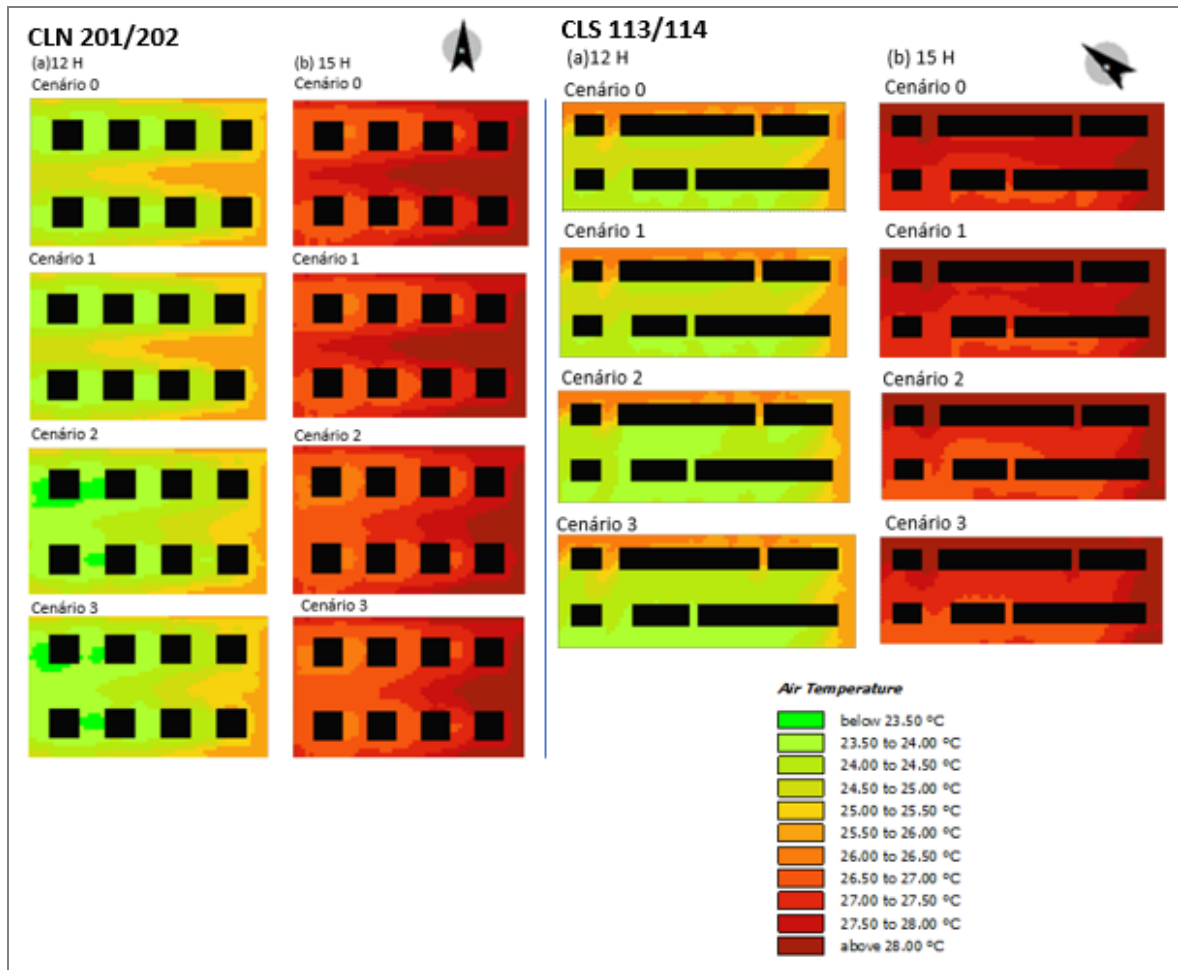
Nos itens seguintes os resultados de cada cenário foram comparados com o caso original discutindo o potencial de mitigação de ICU de superfície de cada estratégia com base em três parâmetros: temperatura do ar, temperatura de superfície e temperatura média radiante.

### **O impacto das estratégias de mitigação de ICU na temperatura do ar e temperatura de superfície**

A figura 6 apresenta os resultados da diferença de temperatura do ar entre o cenário 0 (controle) e os cenários hipotéticos de mitigação. Observou-se nas duas áreas que a intervenção proposta para aumento do albedo (de 0,35 para 0,7) no nível das coberturas (cenário 1) não apresentou relevante redução da temperatura do ar no nível do pedestre. Pesquisas apontam benefícios dessa estratégia na redução do ganho térmico das edificações e, por conseguinte, menor consumo de energia para condicionamento de ar ativo, o que reduz a geração de calor antropogênico contribuindo para a redução da temperatura do ar externo (Gartland, 2010). Taleghani *et al.* (2016) alerta que diversas pesquisas com coberturas frias abordaram seus efeitos na mitigação de ICU na mesoescala, porém poucos estudos trabalharam com foco na escala microclimática.

Já no cenário 2, com aumento do albedo de 0,20 para 0,60 nas ruas e de 0,30 para 0,50 nas calçadas, observou-se maior impacto na temperatura do ar, chegando a uma redução média às 12 h de 0,38 °C na área do CLN 201/202 e 0,30 °C na área do CLS 113/114 que possuem configuração de um cânion urbano. No entanto, as reduções na temperatura do ar são maiores quando analisadas localmente onde os materiais foram aplicados, excluindo as

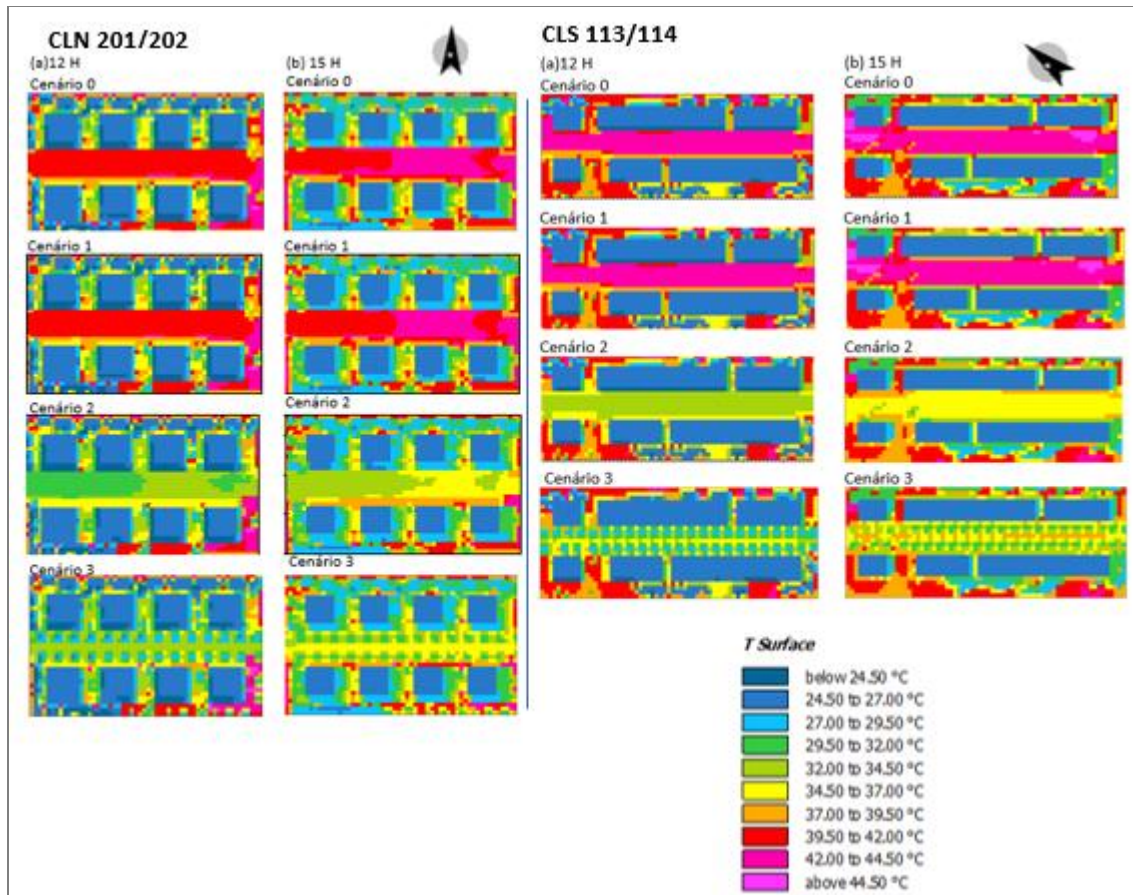
áreas do entorno das edificações que compõem o domínio simulado. As reduções pontuais máximas às 12h chegaram a 1,13 °C no CLN 201/202 1 e 0,91 °C no CLS 113/114.



**Fig. 6** Mapas de distribuição da temperatura do ar referente aos cenários simulados no nível de 1,50 m acima do solo para o período quente-seco.

Ao passo que os materiais frios responderam de forma discreta na redução da temperatura do ar, uma redução mais expressiva em todas as áreas de estudo foi notada na temperatura de superfície, chegando à uma redução máxima de 10°C às 12h nas áreas expostas ao sol. Esse foi o parâmetro analisado que apresentou maior impacto. Estudos tem indicado uma significativa redução da temperatura de superfície substituindo-se pavimentos convencionais por pavimentos frios, implicando na moderação de ICU uma vez que contribui para a redução da emissão de ondas longas e consequentemente a transferência de calor sensível (SYNNEFA e SANTAMOURIS, 2016).

Outro destaque é que as áreas possuem relação  $W/H = 3$  (CLS) e 3.5 (CLN) e se configuram como espaços de recolhimento onde, segundo Romero (2011, p.93), há interação do fluxo de ar entre os edifícios e a absorção do calor acontece próximo ao solo. As maiores temperaturas foram encontradas sobre ruas com pavimento asfáltico e as menores temperaturas foram encontradas em áreas sombreadas por edificações e por vegetação (figura 7).



**Fig. 7 Mapas de distribuição da temperatura de superfície referente aos cenários simulados para o período quente-seco**

### **O impacto das estratégias de mitigação de ICU na temperatura média radiante**

Como os materiais frios proporcionam maiores reflexões da radiação solar, observou-se um aumento da temperatura média radiante, contrabalanceando seus efeitos positivos pois afeta o nível de conforto térmico devido ao aumento da carga radiante (figura 8). O aumento da reflexão solar no nível do solo influenciou os valores da TMR não só nas vias para veículos, mas também no entorno das edificações e locais destinados aos pedestres.

Na mesma linha de pensamento, Tsoka *et al.* (2017) discute ainda que esse efeito pode ser positivo sobre os índices de conforto térmico no inverno quando as temperaturas são mais baixas, mas, no verão, o efeito é inverso. Essa preocupação é bastante relevante para o contexto de Brasília onde predomina a estação quente se diferenciando por períodos chuvosos ou secos.

Outro efeito apontado na literatura é o ofuscamento durante o período diurno como consequência do aumento do albedo, embora possa contribuir para a iluminação natural no interior dos edifícios (LI, 2012). A estratégia combinada de pavimento frio e arborização do cenário 3 demonstrou um comportamento melhor em relação ao aumento da TMR, ao ponto que as reduções da temperatura do ar foram um pouco menores que a do cenário 2.





**Fig. 8** Mapas de distribuição da temperatura média radiante para o período quente-seco. Altura de referência = 1,5m.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados sobre a utilização de pavimentos frios demonstraram que a temperatura de superfície foi a variável de maior impacto de redução. As reduções na temperatura do ar foram maiores quando analisadas pontualmente onde os materiais foram aplicados, não estendendo esse benefício para as demais áreas dos domínios simulados. Os resultados apresentados neste trabalho foram encontrados sob as condições específicas das áreas de estudo. Os procedimentos metodológicos podem ser aplicados em outros recortes urbanos para avaliar a mitigação de ICU com as referidas estratégias entre outras.

A partir do que foi exposto, reforça-se que as características dos materiais de acabamento comumente empregados em superfícies no entorno das edificações devem ser pensadas de forma a beneficiar a ambiência térmica para o pedestre. Também as ações que promovem o uso de vegetação no contexto estudado são indicadas pois reduzem o ganho de calor e assim as trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente. Nesse sentido, o cenário 3, que adotou uma estratégia combinada de pavimento frio e arborização, apresentou condições de TMR melhores que o cenário 2, que possui apenas pavimento frio, o que é mais adequado tendo em vista a ambiência térmica para o pedestre.

Finalmente volta-se ao ponto de estudos individualizados para as cidades sabendo-se da diversidade de microclimas urbanos que coexistem com a diversidade morfológica. Para fins de melhoria do ambiente térmico para o pedestre nos contextos estudados conclui-se que a obtenção da redução da temperatura do ar deve ser ponderada com a análise dos

impactos negativos da radiação refletida na TMR para estimar o potencial das ações de mitigação de ICU com pavimentos frios no nível microclimático. Dessa forma, o parâmetro temperatura do ar analisado isoladamente não reflete adequadamente a condição real que envolve o microclima, a morfologia e as pessoas.

## 6 REFERÊNCIAS

Baptista, G. M. (2017) Ilhas de Calor. Scientific American Brasil. Revista Digital. Editora Moderna: São Paulo, ano 1, no. 2, pg. 24-31, 2010.

Barbirato, G.; Souza, L.; Torres, S. (2016) Clima e Cidade: a abordagem climática como subsídios para estudos urbanos. 2ª edição, Maceió: EDUFAL, 2016. 201p.

Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) IBGE. Disponível online em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br).

Brasil. Instituto Nacional de Meteorologia (2017) INMET. Disponível online em: [www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos).

Gartland, L. (2010) Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo, Oficina de Textos.

Li, H. (2012) Evaluation of cool pavement strategies for heat island mitigation. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade da Califórnia, Davis.

Lombardo, Magda A. (1985) Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo, Editora Hucitec.

Mirzaei, P. A. (2015) Recent challenges in modeling of urban heat island. Sustainable Cities and Society, v. 19, p. 200–206.

Romero, M. A. B. (2011) Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília. São Paulo, Nova Técnica Editorial.

Synnefa, A.; Santamouris, M. (2016) Mitigating the Urban Heat Island with Cool Materials for the Buildings' Fabric. In: Santamouris, M. e Kolokotsa, D. (Org.) Urban Climate Mitigation Techniques. New York, Routledge.

Stewart, I.; Oke, T. (2012) Local climate zones for urban temperature studies. American Meteorological Society, v.93, p. 1879-1900.

Tsoka, S.; Tsikaloudaki, K.; Theodosiou, T. (2017) Urban space's morphology and microclimatic analysis: a study for a typical urban district in the Mediterranean city of Thessaloniki, Greece. Energy and Buildings, v.156, p. 96-108.

Vianna, E.; Romero, M. (2016) The process of formation of heat islands: a parallel between Brasilia and Singapore. 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, 30-31 May and 1 June 2016, National University of Singapore, Singapore.