ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DA PAVIMENTAÇÃO EM CLIMA EQUATORIAL ÚMIDO. ESTUDO DE CASO: AVENIDA LEOPOLDO MACHADO, MACAPÁ-AP

Anneli Maricielo Cárdenas Celis (1); José Walter Cárdenas Sotil (2); Ana Karina Nascimento (3); Mirna Façanha Gomes (4);

(1) Mestre em Arquitetura, arquiteta, anneli.2792@gmail.com, UNIFAP, Macapá
(2) Doutor em Matemática, docente no curso de Ciência da Computação, jwcs.jwcs@gmail.com, UNIFAP, Macapá
(3) Especialista, arquiteta, ana.karina.rodrigues.ap@gmail.com, UNIFAP, Macapá
(4) Graduando de arquitetura e urbanismo, mirnafacanhagomes@gmail.com, UNIFAP, Macapá

RESUMO

A avenida Leopoldo Machado é uma das principais vias de mobilidade da cidade de Macapá, localizado no norte do Brasil, tanto para pedestres quanto para automóveis, pois conecta o hemisfério norte com o hemisfério sul da cidade, ela apresenta inconstância na arborização ao longo da sua extensão, o que torna difícil a locomoção de pessoas de maneira adequada e com conforto térmico. O presente estudo tem como foco analisar o microclima urbano na área, para entender a influência da temperatura superficial da pavimentação urbana no conforto térmico urbano. Foi empregado como método, medições em campo com dispositivos meteorológicos e posteriormente simulações com o software ENVI-Met 4.0 para análise do espaço urbano atual e o espaço urbano "hipotético". Os resultados obtidos demonstraram a influência dos materiais e da vegetação nas mudanças do microclima local. Ao realizar-se a implantação "hipotética" de arborização indicou-se que no cenário "hipotético" em que há arborização abundante a temperatura superficial do pavimento asfáltico diminui até 23ºC em comparação ao cenário "hipotético" sem arborização, já a temperatura da superfície do solo na calçada diminui até 23,8ºC em um cenário "hipotético" com arborização abundante em comparação a um lugar "hipotético" sem arborização. Verificou-se que a temperatura da superfície do pavimento asfáltico sempre é superior à temperatura da base das árvores, devido as características das propriedades do asfalto em armazenar a radiação solar, o que torna necessário o estudo das propriedades dos materiais de pavimentação adequados ao clima local para a substituição do pavimento atual e um planejamento de arborização adequada para cidade, como forma de mitigar os efeitos do aquecimento urbano.

Palavras-chave: pavimentação asfáltica, clima equatorial úmido, ENVI-met 4.0, simulação computacional.

ABSTRACT

The avenue leopoldo machado is one of the main mobility routes of the city of macapá, located in northern brazil, both for pedestrians and cars, as it connects the northern hemisphere with the southern hemisphere of the city, it presents inconstancy in the afforestation along its length, which makes it difficult for people to move around adequately and with thermal comfort. The present study focuses on analyzing the urban microclimate in the area, to understand the influence of the surface temperature of urban paving on urban thermal comfort. It was employed as a method, field measurements with meteorological devices and later simulations with envi-met 4.0 software to analyze the actual urban space and the "hypothetical" urban space. The results obtained demonstrated the influence of materials and vegetation on local microclimate changes. By performing the "hypothetical" implementation of afforestation it was indicated that in the "hypothetical" scenario where there is abundant afforestation the surface temperature of the asphalt sidewalk decreases up to 23ºc compared to the "hypothetical" scenario without afforestation, whereas the surface temperature of the ground on the sidewalk decreases up to 23.8ºc in a "hypothetical" scene with abundant afforestation compared to a "hypothetical" place without afforestation. It was found that the surface temperature of the asphalt sidewalk is always higher than the temperature of the base of the trees, due to the characteristics of the asphalt properties in storing solar radiation, which makes it necessary to study the properties of paving materials suitable for the local climate for the replacement of the current sidewalk and a planning of adequate afforestation for the city, as a way to mitigate the effects of urban warming

Keywords: asphalt paving, humid equatorial climate, ENVI-met 40, computer simulation.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo o aumento da população urbana e suas atividades sem o planejamento necessário provocaram efeitos drásticos ao meio ambiente natural e ao ambiente construído. Essas modificações, como a redução de áreas verdes, aumento do tráfego de veículos e a impermeabilização do solo etc., geram diversos problemas ambientais ao microclima que contribuem para o aumento das temperaturas médias do ar e o desconforto térmico. Os efeitos da rápida urbanização, aumento da população urbana e suas atividades no ambiente natural e ambiente construído vem causando inúmeros impactos nas cidades, eles alteram o microclima e aumentam o desconforto no ambiente urbano (DOBBERT, 2015).

Devido ao processo de urbanização, essas modificações na paisagem geram diversos problemas ambientais, como impermeabilização do solo, elevada concentração de poluentes, aumento da temperatura, alterações dos parâmetros de ventilação etc. Essas modificações favorecem o aparecimento do fenômeno ilha de calor urbana (ICU), ele ocorre principalmente nas cidades com altos índices de urbanização, é caracterizado por áreas urbanas mais aquecidas que a vizinhança menos urbanizada (GARTLAND, 2010).

Gartland (2010) relata que os primeiros estudos sobre o clima urbano começaram no século XIX, em Londres. Luke Howard, evidenciou que as superfícies do solo em áreas urbanas são mais quentes do que as superfícies em áreas rurais, pois os revestimentos criados pelos homens e altamente empregados em zonas urbanas são compostos em sua maioria por materiais de coloração escura e impermeáveis, o que ocasiona na absorção e armazenamento de calor, e a falta de umidade para evaporação. Posteriormente, demais pesquisas passaram a focar nas mudanças climáticas em relação ao processo de urbanização e sua expansão, utilizando conhecimentos vindos de diversas áreas, como física, arquitetura, urbanismo, meteorologia etc.

Sobre as intervenções antrópicas no espaço natural, Romero (2000), destaca a urbanização, que ao substituir a cobertura vegetal por pavimentação e verticalização, produz distúrbios no ciclo térmico diário, devido a diferença entre a quantidade de energia solar recebida e a capacidade térmica dos materiais de construção. Uma vez que a vegetação além de auxiliar na umidificação do ar através do processo de fotossíntese, também favorece a renovação do ar e funciona como um mecanismo termorregulador, no qual há absorção do calor através da transpiração, pois as folhagens apesar de apresentarem uma coloração escura funcionam como um coletor de luz, no qual a maior parte da radiação absorvida é utilizada no seu processo metabólico.

Enquanto a remoção desta cobertura de vegetação e a sua substituição por pavimentação provocam o aumento dos índices de temperatura, visto que toda radiação absorvida por esses materiais é transformada em calor, além de também afetarem a porosidade do solo e tornarem a superfície da terra impermeável, o que altera as condições de drenagem, reduz a umidade do local e intervém na pluviosidade local (ROMERO, 2000).

Frota & Schiffer (2003), consideram que deve-se tomar alguns cuidados quanto ao revestimento do solo ao redor dos edifícios e pela extensão das superfícies destinadas aos pedestres, em razão do poder no qual os materiais tem de armazenar calor. Sobretudo, em cidades de clima equatorial úmido como é o caso da cidade de Macapá, no estado do Amapá, devido às altas temperaturas que apresenta, pois, durante o dia essas superfícies elevam a temperatura do ar e durante a noite, quando se resfriam aquecem o ar ao redor, sendo tanto no interior quanto no exterior das edificações.

Segundo Romero *et al.* (2019), os diferentes tipos de materiais empregados nas construções possuem comportamentos e propriedades próprios, com padrões diferenciados de refletividade total ou de albedos, estes irão interferir na quantidade de radiação absorvida, provocando a elevação da temperatura. Para Neto (2015) as cidades possuem uma grande concentração desses materiais e uma pequena quantidade de arborização, além disso seu solo é quase que inteiramente revestido por materiais impermeáveis e com tonalidades escuras, o que contribui para absorção de energia solar, e possuem grande capacidade de armazenamento de calor. Essas características interferem nos fatores atmosféricos e contribuem para o aparecimento de ilhas de calor em uma zona urbana.

De Mello, Martins e Neto (2009) afirmam que quando não há o uso de materiais com propriedades adequadas ao clima em que serão empregados, será gerado um desconforto térmico e irá interferir na produção do clima urbano, como também podem acarretar problemas de saúde para os moradores da região, por isso considera importantes os estudos que tratam deste tema, para possibilitar o uso racional dos

materiais de acordo com o clima e qualidade de vida para a população.

Esses estudos dedicados à análise do clima urbano auxiliam na compreensão da relação entre a elevação da temperatura do ar e a diminuição da superfície permeável, pois sabe-se que a pavimentação tem um grande impacto no clima urbano, uma vez que quanto maior o índice de superfícies pavimentadas, maiores serão os ganhos de calor e, maior é a emissão deste para o espaço urbano e suas repercussões no clima. Oliveira (1985) considera que uma forma de minimizar as altas taxas de temperatura, seria se construíssem as áreas urbanas com materiais de coloração clara e que possuíssem alta densidade arbórea, pois grande parte da energia solar incidente seria refletida.

Gartland (2010) elucida estratégias capazes de atenuar os efeitos da ilha de calor, como a substituição de elementos de coloração escura por elementos mais claros, que contribuem para a diminuição da absorção de energia térmica, como pavimentos de concreto, além disso, propõe também redução da poluição atmosférica, e o planejamento de áreas verdes, com objetivo de proporcionar áreas sombreadas que contribuam tanto com o bem-estar do usuário quanto para redução do consumo de energia.

Para Tsoka *et al.* (2017), o uso de pavimentos claros demonstra efeitos positivos na diminuição da temperatura da superfície do solo, consequentemente a transferência de calor para o ar, resultando em mudanças mínimas na temperatura do ar. No entanto, o material fresco possui alta capacidade de reflexão da radiação solar, o que afeta a sensação térmica principalmente durante o verão, o que pode interferir negativamente no conforto térmico dos pedestres. Essas características afetam principalmente cidades onde predomina o clima quente, como é o caso de Macapá. Nesse tipo climático, as altas temperaturas podem contribuir para a deterioração dos pavimentos asfálticos e de concreto, sendo a tecnologia de pavimentos frios uma alternativa para mitigação desse tipo de problema (LI, 2012).

Li (2012), aponta que apesar do potencial do material frio de diminuir consideravelmente a temperatura, sua aplicação pode contribuir para o ofuscamento durante o período diurno, devido ao aumento do albedo, o que causa o desconforto visual. Portanto, deve-se explorar soluções eficazes e viáveis de redução das temperaturas, para além do alto albedo, pois outras propriedades térmicas dos materiais utilizados na pavimentação, também determinam a temperatura do pavimento do solo e do ar próximo, como condutividade térmica, emissividade térmica, densidade etc.

Nesse sentido, entende-se que o estudo do ambiente térmico da cidade é importante, para proposição de estratégias que possam mitigar os efeitos negativos dos fenômenos consequentes do aquecimento urbano, como exemplo as ilhas de calor e o aquecimento global. Nesse aspecto, o presente trabalho buscou analisar a influência da pavimentação em uma avenida na cidade de Macapá, através de medições in loco de variáveis do microclima e inserção de dados climáticos no programa de simulação computacional ENVI-met 4.0, para assim demonstrar a influência no conforto térmico.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo analisar a influência do tipo de material e do sombreamento na temperatura superficial da pavimentação e no conforto urbano da cidade de Macapá-AP.

3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos deste trabalho foram divididos em duas fases principais:

1. Medição das variáveis microclimáticas do cenário real com aparelhos meteorológicos portáteis.
2. Uso de simulação computacional utilizando o programa ENVI-met 4.0, para a criação de cenários hipotéticos na avenida Leopoldo Machado, e fazer comparação das medições in loco com a modelagem.

3.1. Medição de variáveis microclimáticas

Foram realizadas medições com ajuda de três dispositivos meteorológicos portáteis em três pontos na Avenida Leopoldo Machado, uma das avenidas de grande fluxo de pessoas na cidade de Macapá-AP. A cidade de Macapá localizada na região norte do Brasil, é cortada pela linha do equador e banhada ao leste pelo Rio Amazonas, fatores esses que lhe configuram como clima equatorial úmido, desse modo é caracterizada por altas temperaturas e elevados índices pluviométricos.

Inicialmente seu crescimento urbano foi consequência de grandes projetos econômicos e políticas públicas de ocupação e desenvolvimento da Amazônia, onde desde 2011 notam-se mudanças no seu processo de urbanização, principalmente na sua geometria e sua estrutura. A cidade passa por um processo de verticalização no centro e seus arredores, enquanto nas áreas mais afastadas acontece a criação de loteamentos horizontais, seu processo apresenta-se de maneira desornada e desestruturada. Esses são

aspectos que modificam a paisagem urbana e consequentemente causam impactos no clima urbano e na qualidade de vida da população.

A avenida escolhida como objeto de estudo neste artigo, deveu-se a alta concentração de pessoas que por ali circulam e suas características morfológicas. Foram realizadas visitas in loco que permitiram observar que a densidade de arborização e a presença de pavimentação não são constantes em toda extensão da avenida, fato este que impossibilita a circulação dos pedestres de maneira adequada e termicamente desconfortável.

Os pontos de medição das variáveis climáticas são caracterizados pela diferença de densidade arbórea e pavimentação presentes ao longo da avenida. As medições foram realizadas no dia 20 de julho de 2017, em três pontos na av. Leopoldo Machado, denominados como P1 (sem arborização), P2 (regular arborização) e P3 (abundante arborização) e medições da superfície do solo conforme indicado na figura 1, no fuso horário de Brasília: 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00 e 21:00 horas.



Figura 1- Trajetória dos pontos de medição na Av. Leopoldo Machado – Macapá, Amapá.

3.1.1. Dispositivos meteorológicos

Os dados das medições in loco das variáveis climáticas do objeto de estudo e da utilização do software foram obtidos às 9, 12, 15, 18 e 21 horas, com o seguinte conjunto de instrumentos:

1. Anemômetro com registro de temperatura da marca HIGHMED, modelo HM-383, é um instrumento resistente de alta sensibilidade e precisão, tem sido usado para medir a velocidade e temperatura do vento, sua unidade de aplicação utilizada tem sido metros por segundo (m/s), com resolução de 0,001;
2. Termo-higrômetro da marca ICEL MANAUS, MODELO ht-4000, é um instrumento com registrador de dados capaz de armazenar até 32.000 leituras e transferi-las por meio de conexão USB, tem sido usado para medir temperatura, umidade relativa e ponto de orvalho, sua temperatura de operação é entre -40ºC a +70ºC, sua unidade de operação 0% a 100%;
3. Termômetro infravermelho da marca Dual Lase, modelo HT-817, usado para os valores das temperaturas superficiais do pavimento, seu tempo de resposta é de no máximo 0,15s, sua faixa de medição está entre -50ºC a +650ºC.



Figura 2 - Dispositivos meteorológicos portáteis.

3.2. Uso do software de simulação computacional, o ENVI-met 4.0

Para o início do programa ENVI-met 4.0, foi-se necessário inserir as configurações básicas de entrada de dados espaciais, preenchendo os: arquivo de entrada (modelagem), o dia da simulação, nomes e pastas e configurações básicas meteorológicas.

Os dados meteorológicos básicos adotados, foram obtidos da estação climatológica do aeroporto da cidade de Macapá e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados obtidos no início da simulação, as 03:00 horas do 20/07/2017, são os da velocidade do vento a 10 metros da superfície (m/s) com valor de 1.5 m/s, direção do vento (em graus) é de 40, rugosidade do solo (estação) é de 0.1, temperatura do ar a 2m (ºC) é de 31.89, umidade especifica a 2.500 metros (g/kg) é de 8.91 e umidade relativa a 2 metros (%) sendo de 87. Para o cálculo da temperatura potencial foi necessário calcular a temperatura e a pressão a 2500m, estes valores foram obtidos por interpolação.

Na etapa da modelagem foram modelados três cenários, que foram denominados como: a situação real com arborização original (AO) onde se reproduz as árvores presentes na imagem real da área de simulação obtida do Google Earth; uma simulação hipotética ideal com arborização (CA) onde são colocadas árvores nos dos lados da calçada a uma distância de 10 metros entre as árvores; e uma simulação hipotética sem nenhuma árvore (AS) em toda a área de simulação. Os dados para a modelagem como altura das edificações e dimensionamentos foram levantados através de medições pelo Google Earth e dados in loco.

Foi realizada a simulação de desempenho térmico de cenários hipotéticos na avenida Leopoldo Machado com o software ENVI-met 4.0, desenvolvida por Michael Bruse, no qual esta ferramenta vem sendo utilizada em pesquisas cientificas sobre simulação do microclima do espaço urbano, tem capacidade de simular a interação entre superfícies-árvores-ar de um ambiente urbano (BRUSE, 2014).

Realizou-se a organização e preparação dos dados de entrada, obtidos através de dados meteorológicos e climáticos por institutos de pesquisa e eventos meteorológicos, como o IMMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisa), para validação dos resultados gerados pelo programa foram utilizados dados coletados nas medições in loco.

Para a modelagem do tipo de solo no software é configurado na opção *Soil and surface,* havendo a possibilidade de escolher o tipo de solo ou de realizar a configuração dos elementos pré-definidos. Os tipos de solos encontrados, são os decorativos, superfícies naturais, estradas e pavimentos e outros, dessa forma, para a configuração do modelo, realizou-se a escolha da opção *Asphalt Road – [ST*] para a estrada, onde há o trânsito de veículos e o *Concrete paviment lights – [PL]* para os estacionamentos e calçadas, conforme mostrado na Figura 3.

Dessa maneira são analisados os resultados da simulação computacional da temperatura superficial da pavimentação em intervalos de uma hora, em pontos sem arborização, com regular arborização e com abundante arborização.

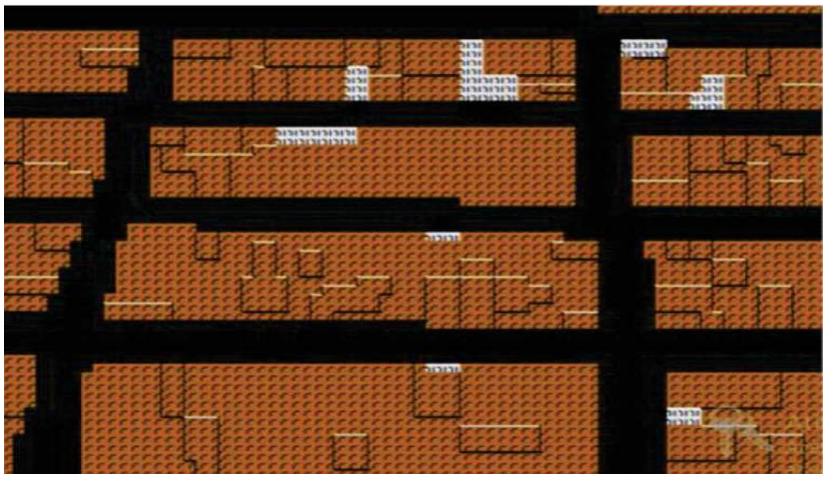


Figura 3 – Modelagem do tipo de solo no software ENVI-met 4.0 para a área de estudo.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Resultados de medições da temperatura superficial da pavimentação *in loco*

A seguir serão apresentados os resultados obtidos na primeira fase desta pesquisa. Todos os dados de medições in loco são referentes ao dia 20 de julho de 2017 nos horários de 06h, 09h, 12h, 15h, 18h e 21h, ou

seja, compreendidos entre o período total de monitoramento das variáveis. Esses horários foram escolhidos por recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Para análise da influência da pavimentação no conforto térmico urbano na Avenida Leopoldo Machado, utilizou-se o dispositivo meteorológico termômetro infravermelho, que permite a indicação dos valores de temperatura superficial do solo, sendo considerado a pavimentação asfáltica na rua, o cimento ou concreto na calçada e a terra ao redor das árvores.

Na Figura 4 se apresentam a séries da temperatura do pavimento no ponto sem arborização P1. No asfalto temos uma variação de temperatura entre 29,1ºC e 60,0ºC e valor médio de 44,5ºC, enquanto na calçada a variação da temperatura entre 28,6ºC e 58,6ºC com valor médio de 42,3ºC.

Na Figura 5 se apresentam a séries da temperatura do pavimento no ponto com regular arborização P2. No asfalto temos uma variação de temperatura entre 29,8ºC e 58,1ºC e valor médio de 42,1ºC, na calçada a variação da temperatura entre 27,4ºC e 47,9ºC com valor médio de 35,8ºC, enquanto nas árvores temos uma variação de temperatura entre 26,4ºC e 47,5ºC com valor médio de 34,5ºC.

Na Figura 6 se apresentam a séries da temperatura do pavimento no ponto com maior arborização P3. No asfalto temos uma variação de temperatura entre 27,6ºC e 37,1ºC e valor médio de 33,5ºC, na calçada a variação da temperatura entre 26,2ºC e 34,8ºC com valor médio de 32,0ºC, enquanto nas árvores temos uma variação de temperatura entre 26,0ºC e 32,3ºC com valor médio de 30,5ºC.



Figura 4 – Temperatura da superfície solo no ponto nº 1 (Sem arborização).



Figura 5 – Temperatura da superfície solo no ponto nº 2 (Regular arborização).

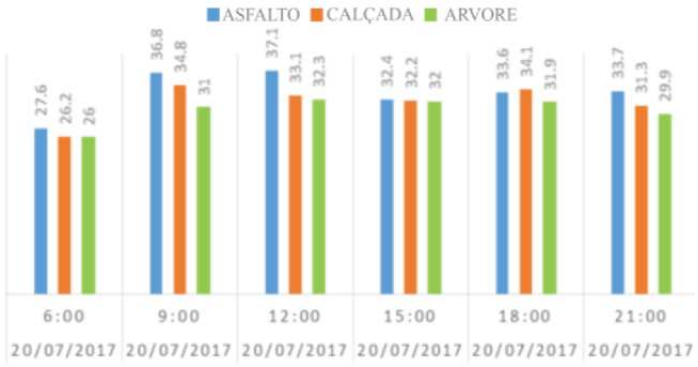


Figura 6 – Temperatura da superfície solo no ponto nº 3 (abundante arborização).

Observa-se que na ausência de sombreamento pelas árvores (ponto P1), a diferencia de 2,2ºC entre as temperaturas do asfalto e calçada são exclusivamente devidas ao tipo de material do pavimento.

Quando se adiciona uma arborização regular (ponto P2), o sombreamento das árvores incide mais na calçada (a temperatura média diminui 2,4ºC) que no asfalto (a temperatura média diminui 6,5ºC) em relação aos valores do ponto P1.

Ao adicionar maior arborização (ponto P3) o asfalto recebe os efeitos do sombreamento ao igual que a calçada. Em relação aos valores do ponto P2, a temperatura média do asfalto diminui em 8,6ºC, na calçada diminui 3,8ºC e na base das árvores diminui 4,0ºC. A diferença entre as temperaturas médias da calçada e o asfalto é de 1,5ºC e a diferença entre as temperaturas médias do asfalto e da calçada também é de 1,5ºC.

Dos dados obtidos pode-se inferir que o tipo de material influência na temperatura superficial do solo. Nas mesmas condições a temperatura no asfalto é em média 2ºC maior que a temperatura da calçada,

enquanto em média nas mesmas condições de sombreamento a temperatura da calçada é em média 1,5ºC maior que a temperatura na base das árvores.

Os dados também indicam que o maior sombreamento diminui 11ºC a temperatura média do asfalto e diminui 10,5ºC a temperatura média na calçada. Quando se muda de regular para maior sombreamento a temperatura média da calçada e da base das árvores diminui em média 4,0ºC.

Conclui-se dos dados que o sombreamento produz uma diminuição maior na temperatura média da superfície (em torno de 11ºC) que o tipo de pavimento (em torno de 2ºC). A escolha de materiais para o pavimento é importante para obter uma diminuição ainda maior na temperatura superficial do solo.

Com o anemômetro digital foi medida a temperatura do ar com medição das 06:00 horas às 21:00 horas com intervalo de 3 horas. Nos três pontos observou-se que temperatura máxima ocorre entre 12:00 e 15:00, e as temperaturas mínimas são às 06:00 horas e 21:00 horas, horário de menor incidência solar. A variação de temperatura no ponto P1 (Sem arborização) é entre 25,8ºC a 35,1ºC. Além disso, percebe-se a atenuação da temperatura no ponto P2 (Regular arborização) e no ponto P3 (Abundante arborização), com redução de 3ºC, isso se deve à presença das árvores.

Quanto a obtenção de dados da umidade relativa do ar, foi utilizado o termo-higrômetro, sendo considerada a altura de 1.50 m para medição. A área apresenta altas taxas de umidade, devido ao clima equatorial-úmido. A amplitude das medidas de umidade relativa varia entre 71,4% e 81,8% com média de 76,5% no ponto P1 Sem arborização. E com a presença de abundante arborização no ponto P3, observou-se a amplitude da umidade relativa entre 71,1% e 81,2% com média de 77,8% de umidade, enquanto o ponto P2 de Regular arborização apresentou amplitude de umidade relativa entre 72,6% e 82,4% com média de 77,2%. Esta variável apresentou resultado acima do valor entre 40% e 70% recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

O efeito na ventilação também é observado nas medições dentro da área de estudo, sua velocidade diminui em relação à presença da arborização. No ponto P3 (Abundante arborização) foi obtivo o menor valor de velocidade média com 1,24 m/s em comparação ao ponto P1 (Sem arborização) com 1,48 m/s, enquanto o ponto P2 (Regular arborização) apresenta velocidade média de 1,32 m/s.

A diminuição na temperatura do ar em áreas com grande densidade arbórea, se deve ao processo metabólico que a vegetação realiza. Uma área arborizada é capaz de absorver grande quantidade de radiação solar e irradiar uma menor quantidade de calor que qualquer superfície desenvolvida (ROMERO, 2000).

4.2. Resultados da temperatura superficial com a utilização do software ENVI-met 4.0

Os dados de temperatura superficial do solo, demostram diferenças significativas com relação da densidade de arborização. Descreve-se, portanto, os resultados obtidos da simulação computacional nos três distintos cenários de densidade de arborização e os seus receptivos receptores. Os três receptores denominados R1, R2 e R3 tem as seguintes características que os diferencia, sendo o receptor R1 possuindo coordenadas (57, 41) na malha horizontal do modelo e está localizado em um ponto da Avenida Leopoldo Machado, onde não se observa arborização. O receptor R2, possui coordenadas (59, 28) e está localizada onde se observa regular arborização, em seguida o receptor R3, possui coordenadas (59, 11), onde se observa abundante arborização.

Observa-se que a temperatura superficial máxima ocorre entre as 11:00h e 13:00h, dentro dos três modelos, com valor máximo de 53.45ºC no modelo sem arborização, 53.05ºC no modelo de arborização original e 52,48ºC no modelo com arborização. No início e final da simulação, a temperatura superficial do solo são bastantes próximos, com uma diferença até de 0.75ºC menor para o modelo com arborização.

A temperatura superficial do solo dos modelos sem arborização (AS) e arborização original (AO) no receptor R1 são bastantes próximos, o qual se justifica, pois ambos os modelos não apresentam arborização nesse ponto. Se observa também que a temperatura do solo no modelo com arborização (CA), apresenta os menores valores principalmente entre as 07h e 15h do dia 20 de julho de 2017 (ver Figura 7).

No receptor R2, no qual é um ponto que apresenta regular arborização, se observa os seguintes resultados: os valores de temperatura máxima superficial são de 53.72ºC no modelo sem arborização, 49.07ºC no modelo de arborização original e 48.61ºC no modelo com arborização. As diferenças máximas de temperatura superficial do solo entre os modelos, são de 14.14ºC maior para o modelo sem arborização com relação ao de arborização original, 5ºC maior para o modelo de arborização original em relação ao modelo com arborização e de 14.95ºC maior para o modelo sem arborização em relação ao modelo com arborização.

De forma geral no receptor R2 os modelos com arborização e sem arborização apresentam respectivamente os menores e maiores valores da temperatura superficial do solo. O modelo de arborização original possui valores da temperatura do solo mais próximos ao modelo com arborização em relação à série temporal como se mostra na figura 8.

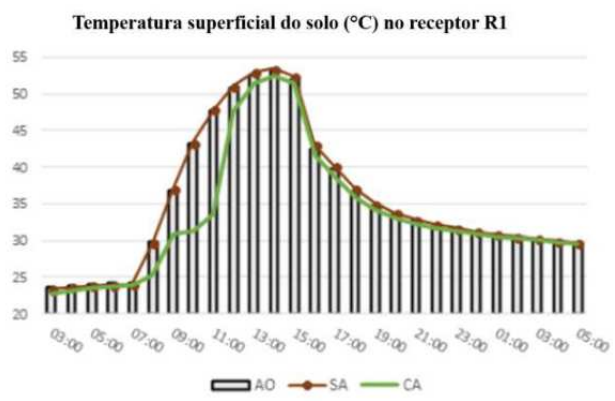


Figura 7 – Temperatura da superfície solo no Receptor R1.

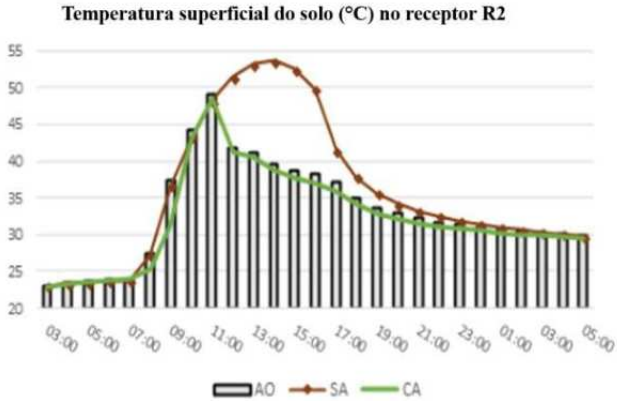


Figura 8 – Temperatura da superfície solo no Receptor R2.

No receptor R3, o ponto no qual apresenta maior arborização, se observam os seguintes resultados: Os valores da temperatura superficial máxima do solo nos modelos são de 51.89ºC às 14h no modelo sem arborização, 53.38ºC às 13h no modelo arborização original e 47.16 às 11h no modelo com arborização. As diferenças máximas de temperatura superficial entre os modelos são de 6.72ºC maior para o modelo sem arborização com relação ao modelo de arborização original, 13.89ºC maior para o modelo de arborização original com relação ao modelo com arborização e 13.85ºC maior para o modelo sem arborização com relação ao modelo com arborização.

Portanto, novamente o modelo com arborização presenta os menores valores de temperatura de solo, e o modelo sem arborização os maiores valores de temperatura superficial do solo. Se observa então, que o modelo de arborização original possui os valores intermediários em comparação aos demais modelos em toda série temporal, como pode-se observar na Figura 9. O receptor R3 está às 15h cobertas pela sombra dos edifícios, devido ao sol neste horário estar do lado leste, o que explica as diferenças menores entre os três modelos.

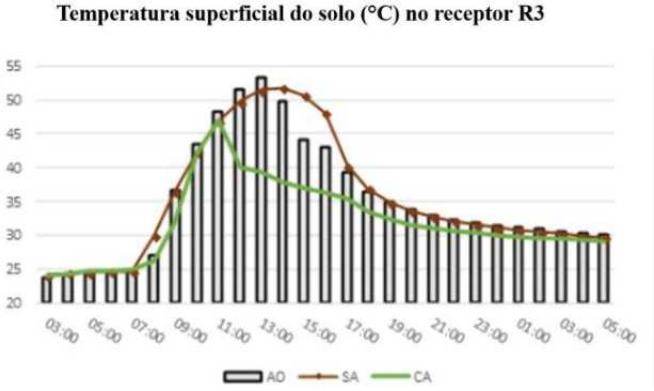


Figura 9 – Temperatura da superfície solo no Receptor R3.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos através da medição in loco é possível confirmar que o material utilizado na pavimentação da avenida Leopoldo Machado influencia no microclima urbano, os valores de temperatura do asfalto são próximos a 60ºC, enquanto a temperatura do concreto usado nas calçadas chega a 58,6ºC, o que favorece a formação das ilhas de calor. Além disso, foi verificado que nos pontos em que há presença de arborização, a temperatura do solo diminuiu até 26ºC, diminuiu também a temperatura do ar, reduziu a velocidade dos ventos, e aumentou a umidade relativa do ar, a combinação desses fatores proporcionam um melhor conforto térmico urbano.

As medições in loco assim como as simulações computacionais conseguem refletir as diferenças observadas in loco na temperatura do pavimento com diferentes densidades de arborização, sendo o efeito do sombreamento das árvores o fator principal na diminuição da temperatura analisada neste trabalho. Isto abre

possibilidades de futuras pesquisas com diferentes tipos de materiais de pavimento, claros ou escuros, considerados no software Envi-met 4.0 e as possibilidades de diminuir as altas temperaturas do pavimento em cidades situadas na latitude equatorial.

Analisando os dados, pode-se concluir que a pavimentação asfáltica convencional muito utilizada nas cidades brasileiras possui temperaturas médias superiores às do concreto. De fato, seria a substituição da pavimentação escura por pavimentação de coloração clara, como pavimento intertravado permeável ou a técnica de *whitetopping*, os tornando de cores mais claras ao realizar a mistura de composição. Uma vez que a coloração mais clara causa um maior efeito no valor do albedo.

Além de realizar a troca da pavimentação convencional, se faz necessário a adoção de outras medidas, como a criação de um corredor verde como forma de mitigar os problemas causados pelo desconforto térmico, principalmente em cidades localizadas na linha do equador como é o caso de Macapá, estas recebem alta incidência de radiação solar durante todo o ano e necessitam de estratégias que melhorem as altas temperaturas. Isso se justifica, pois os resultados obtidos através da simulação computacional realizadas com o software ENVI-met 4.0, comprovam o efeito positivo da arborização na temperatura do pavimento e, portanto, incidem positivamente nos índices de conforto térmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOBBERT, L.Y. **Arborização na cidade de Campinas/SP-percepção e conforto**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2015.

FROTA, Anésia Barros. **Manual de Conforto Térmico: arquitetura, urbanismo**/ Anésia Barros Frota, Sueli Ramos Schiffer, 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

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

LI, H. **Evaluation of cool pavement strategies for heat island mitigat**ion. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade da Califórnia, Davis, 2012.

MELLO, Maria; MARTINS, Nathalia; NETO, João. **A influência dos materiais construtivos na produção do clima urbano**. Revista Brasileira de Climatologia, setembro, 2009.

NETO, Raul. **Temperatura da superfície nos materiais de pavimentação: uma contribuição ao desenvolvimento urbano**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

OLIVEIRA, P.M.P. Cidade apropriada ao clima e a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Dissertação (Mestrado) – UNB, Brasília, 1985.

ROMERO, Marta; BAPTISTA, Gustavo; LIMA, Erondina; WERNECK, Daniela; VIANNA, Elen; SALES, Gustavo. Mudanças Climáticas e Ilhas de Calor Urbanas. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 1º ed, Brasília, 151 p, 2019.

ROMERO, Marta. Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano. Universidade de Brasília, 1ºed, 2000.

TSOKA, S.; TSIKALOUDAKI, K.; THEODOSIOU, T. 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, 2017.