ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

ENSAIO SOBRE A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA SUPERFICIAL APARENTE

NEVES, Gustavo Zen Figueiredo - gustavozen@outlook.com
Universidade de São Paulo/ USP

FELÍCIO, Ricardo Augusto - ricaftnt@yandex.com
Universidade de São Paulo/ USP

MACEDO, Silvio Soares - ssmduck@usp.br
Universidade de São Paulo/ USP

VECCHIA, Francisco Arthur da Silva - fvecchia@sc.usp.br
Universidade de São Paulo/ USP

RESUMO No Brasil e no mundo a ilha de calor é o fenômeno mais estudado em climatologia urbana. É um fenômeno multifacetado com uma série de possíveis causas, atingindo intensidade máxima poucas horas após o pôr do Sol. As regiões tropicais carecem de estudos do clima das cidades, como também do balanço de radiação em escala microclimática. O objetivo deste trabalho foi verificar as variações da temperatura superficial aparente de elementos urbanos, por meio de um termômetro infravermelho na cidade de São Carlos-SP. O experimento revelou que as temperaturas são demasiadamente elevadas próximas a altura média dos pedestres, mesmo com limitada visão do céu. Houve um atraso na perda de calor para algumas superfícies observadas no período noturno e variação no desempenho térmico nas camadas verticais sobrejacentes ao chão.

Palavras- chaves: Canyon Urbano; Arquipélagos de Calor; Atmosfera Urbana Inferior.

TEST ABOUT VARIATION APPARENT SURFACE TEMPERATURE

ABSTRACT: In Brazil and all around the world, the Urban Heat Island is one of the most studied phenomena in urban climatology. It is a multifaceted phenomenon with many possible causes, which achieve its maximum intensity few hours after the sunset. Tropical regions have lack in climate studies for their cities, as well as radiation balance in microclimate scale. The aim of this work was to verify the apparent surface temperature variations of urban elements, through an infrared thermometer, in the city of São Carlos, SP. The experiment revealed that the highest temperatures are recorded near the average height of pedestrians, even with a limited view of the sky. There is also a delay in heat loss to some surfaces observed in the night time and thermal performance variation in vertical layers overlying the ground.

Keywords: Urban Canyon; Urban Heat Islands; Urban Canopy Layer.

ENSAYO SOBRE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL APARENTE

RESUMEN: En Brasil y en el mundo, la Isla de calor es uno de los fenómenos más estudiados en climatología urbana. Es un fenómeno multifacético con una serie de posibles causas, alcanzando la intensidad máxima pocas horas después de la puesta del sol. Las regiones tropicales carecen de estudios de clima para sus ciudades, así como de balance de radiación en escala microclimática. El objetivo de este trabajo fue verificar las variaciones de temperatura superficial aparente de los elementos urbanos, por medio de un termómetro infrarrojo, en la ciudad de São Carlos- SP. El experimento reveló que las temperaturas más altas son registradas cerca de la altura media de los peatones, incluso con una vista limitada del cielo. Existe también un retraso en la perdida de calor para algunas superficies observadas en el periodo nocturno y variación del desempeño térmico en las camadas verticales suprayacentes al suelo.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Palabras Clave: Cañón Urbano; Archipiélagos de Calor; Atmósfera Urbana Inferior.

INTRODUÇÃO

As zonas urbanas têm uma estrutura complexa tridimensional que inclui a superfície vertical, como paredes, bem como superfícies horizontais (telhados, estradas, asfaltos, copas das árvores, solo exposto). A atmosfera urbana, que se situa dentro do dossel da camada urbana, é, portanto, condicionada por temperaturas tanto de superfícies horizontais e verticais. A contribuição de cada uma se torna importante com o incremento da superfície, principalmente em zonas centrais das cidades.

Observações orbitais da temperatura da superfície urbana a partir de imagens de satélite, ou em aeronaves, estão sujeitas a viesses, pois revelam apenas um subconjunto das superfícies, principalmente as verticais, que não conseguem obter uma estimativa fidedigna das superfícies. Estudo realizado por Machado e Azevedo (2006), na cidade de São Paulo, confirma que o balanço energético de sensores orbitais é significativamente maior em relação ao observado em superfície.

As observações térmicas na escala microclimática incluem aplicações na avaliação da rua e sua vegetação circundante, a taxa de aprisionamento ou dispersão advectiva dos ventos e transporte de particulados e/ou poluentes no canyon; estudos de aquecimento e eficiência energética dos edifícios, sua geometria e orientação e traçado das ruas (paralelo ou transversal) com o movimento aparente do Sol em diferentes horários do dia e estações do ano.

A formação de condições climáticas intra-urbanas, derivadas da heterogeneidade do tecido urbano e sua estrutura morfológica, carece de estudos do clima das cidades, como também, há poucos estudos que caracterizam as temperaturas superficiais das paredes em áreas urbanas (NAKAMURA e OKE, 1988; VOOGT e OKE, 1997; VOOGT e OKE, 1998; MACHADO, 2011). O conhecimento mais detalhado da sua variabilidade torna possível identificar os fatores causadores da diferenciação climática e a interação com os indivíduos que nela vivem (MONTEIRO e MENDONÇA, 2003, p. 96).

No Brasil e no mundo a ilha de calor é o fenômeno mais estudado em climatologia urbana (ARNFIELD, 2003; STEWART, 2011; LIMA, PINHEIRO e MENDONÇA, 2012). De acordo com Oke (1982), ela é um fenômeno multifacetado com uma série de possíveis causas, tanto de maneira isolada quanto a combinação delas. Normalmente, a ilha de calor se desenvolve após o pôr do Sol quando o ambiente rural esfria a uma taxa superior à do ambiente urbano e não durante o dia.

De fato, a maioria dos estudos aponta que a ilha de calor atinge a intensidade máxima poucas horas após o pôr do Sol, em dias sem nebulosidade, quando a perda de calor sensível das superfícies e canyons urbanos é lenta e sem vento. Isso significa que é mais intensa em episódios climáticos de estabilidade atmosférica com a ausência de transferência turbulenta de fluxos advectivos.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A Figura 1 ilustra a disposição das superfícies rurais e urbanas que produzem uma ilha de calor noturna na atmosfera urbana inferior, em microescala. A perda de radiação em ondas longas de um perfil de solo exposto ou vegetado é mais rápida, por não conter elementos edificados.

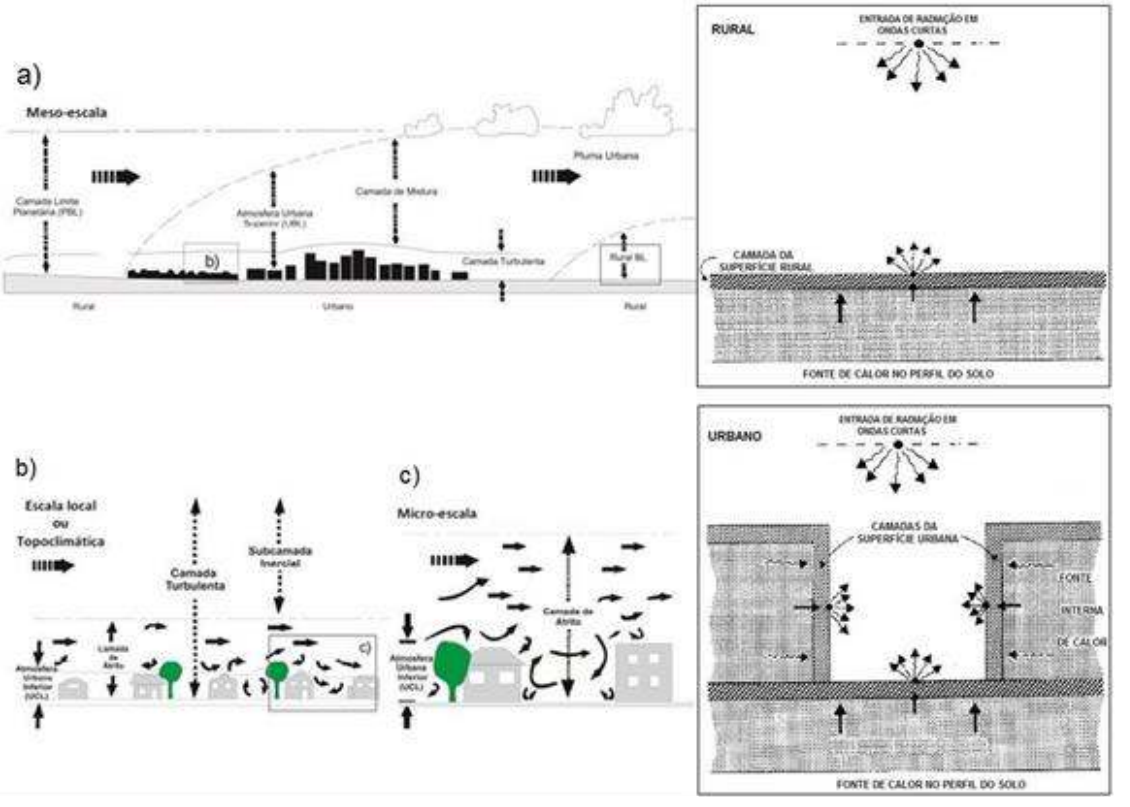


Figura 1 - Escalas climáticas verticais e horizontais de áreas urbanas e rurais. Adaptado de Oke (2004) e Johnson et al (1991).

Na superfície urbana, o canyon é rodeado por estruturas verticais relativamente quentes que irradiam, não só para o céu, mas também para baixo, reduzindo a perda de radiação líquida na base do canyon. Há também fontes de calor internas das edificações que retroalimentam, por condução, as paredes do canyon. Assim, a superfície horizontal do canyon perde radiação em ondas longas mais lentamente do que uma superfície rural equivalente, produzindo uma temperatura distinta, característica da ilha de calor no período noturno, segundo Johnson et al (1991).

O sistema clima urbano, segundo a escola Okeana, possui uma diferença térmica e turbulenta entre a Camada Limite Urbana e a Camada do Dossel Urbano. Os processos microclimáticos no ambiente urbano são derivados dessas interações.

A camada limite evolui em resposta ao ciclo diário de aquecimento e resfriamento da atmosfera. Os principais agentes de transporte e mistura são térmicos. As alterações mais significativas nesses perfis ocorrem na parte superior da Camada de Mistura, onde uma inversão de nivelamento interrompe o transporte ascendente dos efeitos da superfície.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A Camada Limite Urbana possui três subdivisões: Cama da de Mistura; Camada de Superfície – nessa camada fazem parte a Camada de Rugosidade e Camada de Fluxo Constante ou Camada Inercial. A interação entre elas dependerá do quanto a cidade influencia na extensão ou profundidade vertical da Camada Limite Planetária. A medida que o ar flui de uma superfície para outra de diferentes rugosidades, se alteram também a velocidade e a direção (Figura 2).

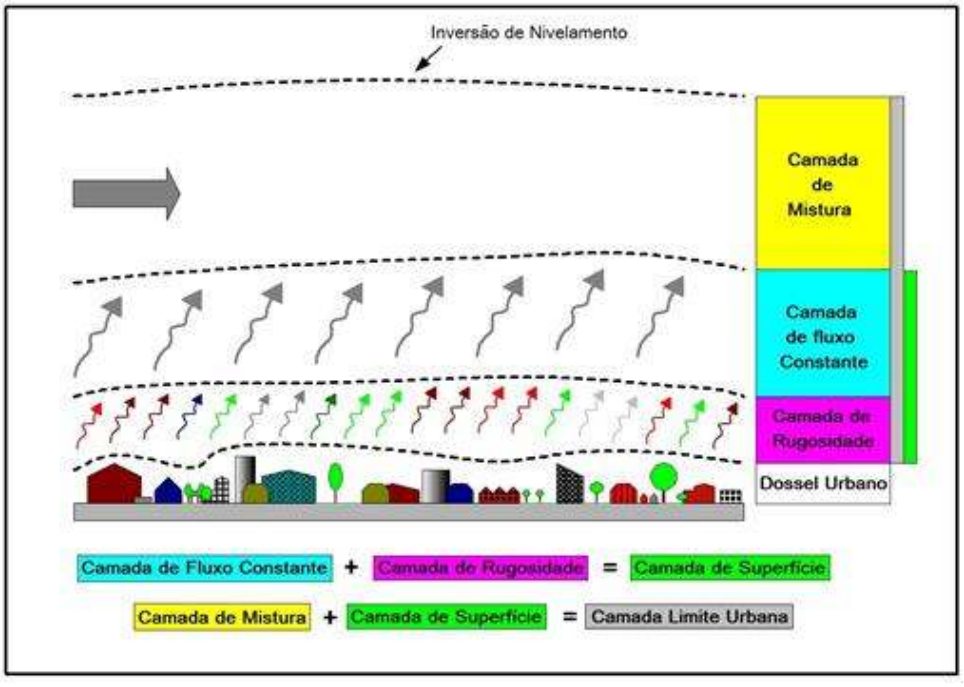


Figura 2 - Divisões da Camada Limite Urbana. Adaptado de Arnfield (2014).

As zonas urbanas têm uma estrutura complexa tridimensional que inclui a superfície vertical, como paredes, bem como superfícies horizontais (telhados, estradas, asfaltos, copas das árvores, solo exposto). A atmosfera urbana, que se situa dentro do dossel da camada urbana, é, portanto, condicionada por temperaturas tanto de superfícies horizontais e verticais. A contribuição de cada uma se torna importante com o incremento da superfície, principalmente em zonas centrais das cidades.

Para um indivíduo que se desloca na base do canyon, há um fluxo radiativo emitido pelas superfícies incidindo sobre ele. Este fluxo deve ser sentido principalmente pelos indivíduos cujos corpos ainda não atingiram o equilíbrio térmico com o meio urbano, conforme Machado (2009, p. 130), que é composto por uma variedade de materiais, como o concreto, rocha, asfalto, placas metálicas, tijolos e da própria população em vias de grande circulação cuja amplitude térmica é maior na base das estruturas (paredes, ruas e calçadas).

O objetivo geral deste trabalho foi verificar as variações da temperatura superficial aparente de elementos urbanos, por meio de um termômetro infravermelho na cidade de São Carlos-SP.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

MATERIAIS E MÉTODOS

MÉTODO

Foi utilizado um termômetro digital infravermelho fixado em um tripé de alumínio a 1,30m em uma cota aproximada da altura média dos indivíduos (IBGE, 2009) que transitam pelos espaços livres de áreas urbanizadas, com a aferição manual dos setores cardeais e colaterais Norte (N), Nordeste (NE), Leste (L), Sudeste (SE), Sul (S), Sudoeste (SO), Oeste (O) e Noroeste (NO), para as angulações de -10º, 0º, 10º, 25º e 35º (Figura 3).

As medidas horárias ocorreram entre às 13h do dia 4 de fevereiro de 2014 até às 12h do dia seguinte (5/2/14). Estudos semelhantes foram realizados por Voogt e Oke, (1997); Voogt e Oke, (1998); Machado e Azevedo, (2006); Machado, (2011).

Os dados observados pelo termômetro infravermelho ocorreram da seguinte maneira: Um disparo curto no gatilho do termômetro para que o sensor fosse previamente sensibilizado com a energia do novo alvo/objeto; três disparos "padrão" (aproximadamente 0,5s com o gatilho pressionado), realizando a média entre os valores. Os três disparos garantiriam a ausência de erro e leitura tanto pelo sensor quanto pelo operador.

Os valores foram anotados em uma planilha de campo, digitados e organizados em planilha eletrônica em ordem cronológica horária. Em todos os pontos amostrais foram realizados os registros fotográficos dos oito setores (cardeais e colaterais) por meio de uma câmera digital acoplada ao celular, pelo operador.

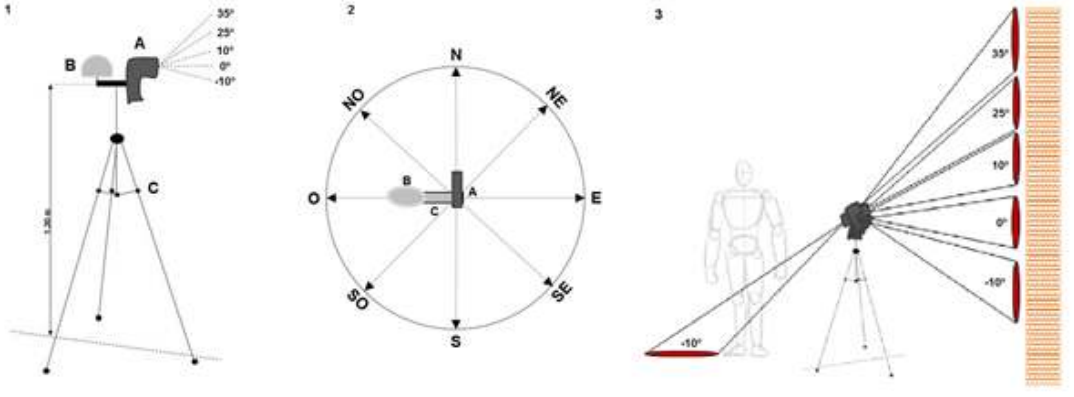


Figura 3 - (1 e 3) Esquema dos ângulos de visada; (2): Posições cardeais e colaterais; (A): Termômetro digital infravermelho; (B): Termômetro do ar; (C): Tripé de alumínio. Elaboração: os autores.

MATERIAIS

- 01 Termômetro Infravermelho Digital, Instruterm, modelo HM-6989;
- 01 Tripé de alumínio com 1,30m de altura, Targus;
- 01 Abrigo Meteorológico de metal, Azula;
- 01 Termômetro do ar, HT-500.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

O termômetro é sensível à faixa espectral do infravermelho termal cuja banda principal vai desde 08 μm até 14 μm. Esta banda é utilizada em procedimentos de determinação de uma temperatura, realmente significativa, para idealizações de uma superfície urbana completa (VOOGT e OKE, 1997; MACHADO, 2009, p. 43).

O aparelho determina a temperatura medindo a quantidade de energia infravermelha irradiada, sem contato com a superfície a ser estudada. Possui uma escala de leitura de temperatura infravermelha entre -50ºC a 1650ºC e uma precisão de ± 1ºC de leitura. O tempo de resposta é de 500 m.s-1. Sua emissividade é ajustada digitalmente e pode variar entre 0,10 a 1,0. À medida que a distância (D) do alvo que está sendo medido aumenta, o diâmetro do ponto (S) se torna maior. Quando o campo de visão instantâneo do infravermelho é projetado sobre a rua ou paredes, a área de visão é a de um círculo. O tamanho da área indica 90% de energia inscrita no círculo (Figura 4).

À medida que a distância do objeto observado aumenta, sobreposições entre as amostras adjacentes podem ocorrer quando direcionados para objetos em movimento como os galhos da copa das árvores, na angulação 35º.

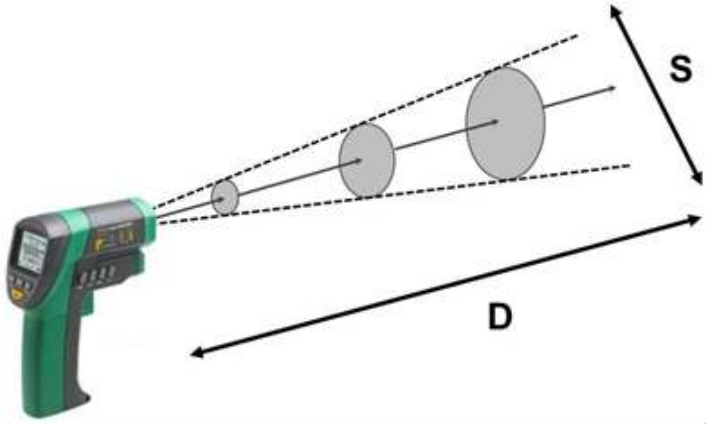


Figura 4 - Relação da Distância (D) do alvo para o Diâmetro de medição (S) – campo de visão instantâneo. Elaboração: os atores.

Trata-se aqui, de observar a temperatura superficial aparente, que é geralmente mais baixa que a temperatura real. Isso acontece porque a fonte de radiação é refletida principalmente para o céu que está radiativamente mais frio (assumindo que a superfície se comporta como um refletor difuso). Em áreas urbanas os canyons tem um fator de visão do céu obstruído, de modo que a radiação emitida pelos edifícios substitui a do céu (VOOGT e OKE, 1998).

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Localizada na Latitude de 22º10’ e Longitude de 47º53’, São Carlos têm na posição geográfica um dos fatores de maior significado na sua definição climática (Figura 5). Nesta latitude o movimento aparente do Sol resulta intensa insolação durante o ano todo e sua posição representa uma importante mudança no recebimento de energia solar na Terra. Segundo a classificação climática de Monteiro (1973), a cidade é qualificada como a região de climas controlados por massas tropicais e polares, caracterizando-se por climas tropicais alternadamente secos e úmidos. No período seco a frequência de chuva

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

diminui consideravelmente e se constitui na área de inverno mais nitidamente seco do Estado de São Paulo.



Figura 5 - Localização das áreas de estudo. Elaboração: os atores.

O experimento foi realizado no campus universitário da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, local ocupado por edificações com dois e três pavimentos, com massa arbórea de médio e grande porte, com reduzido fator de visão do céu, calçadas de concreto, pavimento asfáltico, gramado e intenso fluxo de pedestres e veículos (Figura 6).

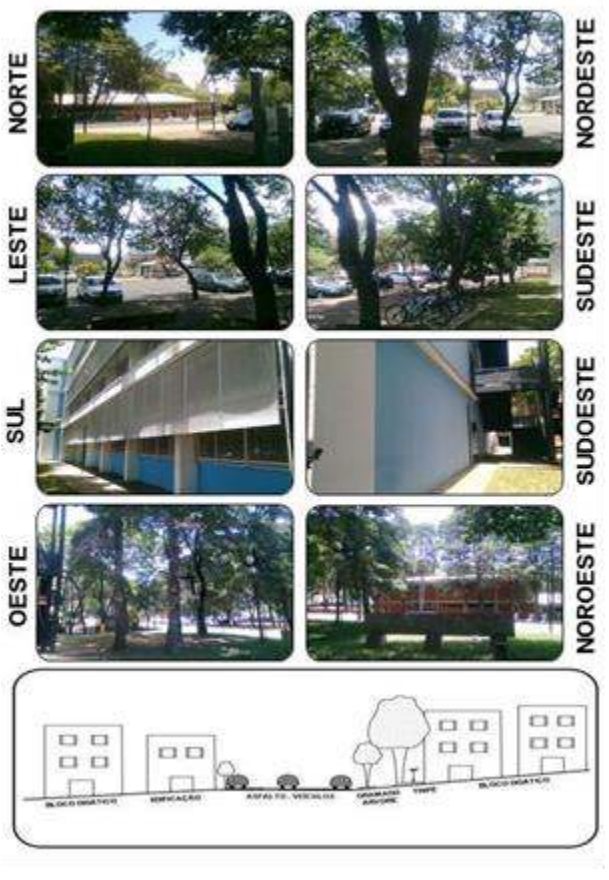


Figura 6 - Registros fotográficos do local e perfil transversal pictórico. Acervo e elaboração: Os autores.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

As condições de estabilidade atmosférica, entre os dias 4 e 5 de fevereiro de 2014, são favoráveis para a experimentação diurna e noturna. Houve o predomínio da mTA (Massa Tropical Atlântica) no Estado de São Paulo, com temperaturas acima dos 30,0ºC entre 10h e 16h e 20,0ºC na madrugada, sem precipitação. O episódio é marcado por nuvens esparsas na região de São Carlos, que em breves momentos, atenuava a incidência da radiação solar sobre os elementos urbanos e os alvos do sensor infravermelho (Figura 7).

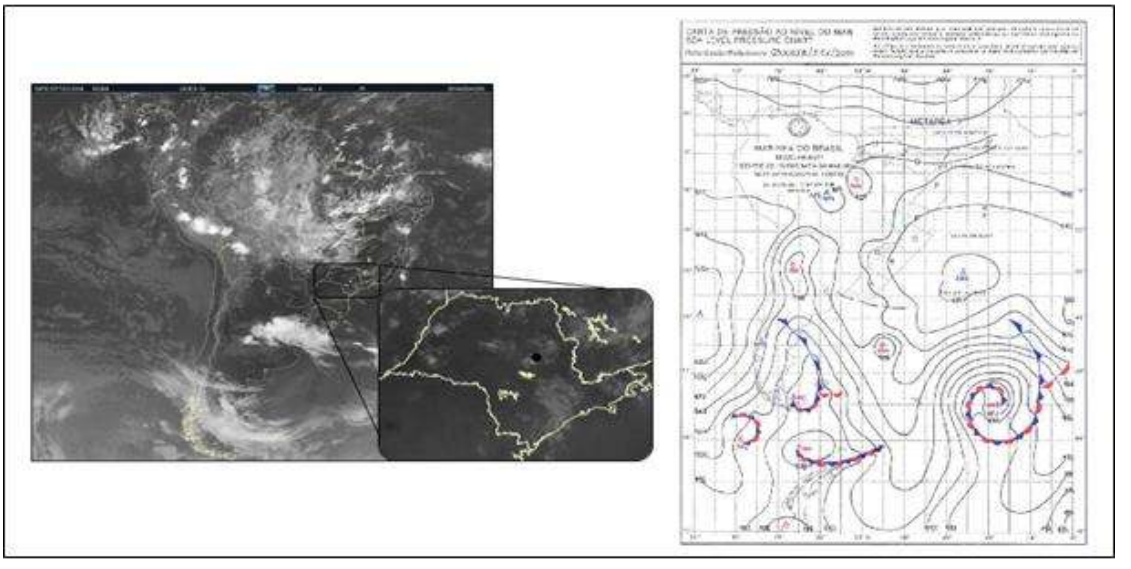


Figura 7 - Imagem do Satélite GOES-13, Canal 4 IR do dia 04/02/2014, às 12h, com destaque para o Estado de São Paulo e Cidade de São Carlos. Carta de Pressão ao nível do mar do dia 04/02/2014, às 00Z. Fonte: CPTEC/INPE e Marinha do Brasil, 2014.

As características do local foram reconhecidas por múltiplos materiais e superfícies, descritos de acordo com a orientação (direção) dos alvos com relação ao posicionamento do equipamento e as angulações de estudo (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição das superfícies para as angulações e direções estudadas no experimento.

Ang. / Dir.	-10º	0º	10º	25º	35º
N	Calçada	Parede de tijolo	Parede de tijolo	Telhado	Árvore (Copa)
NE	Gramado	Parede de tijolo	Árvore (Tronco)	Árvore (Copa)	Árvore (Copa)
E	Gramado	Parede de tijolo	Árvore (Tronco)	Árvore (Copa)	Árvore (Copa)
SE	Gramado	Parede de tijolo	Árvore (Copa)	Árvore (Copa)	Árvore (Copa)
S	Calçada	Parede de tijolo	Sup. metálica	Parede de tijolo	Parede de tijolo
SO	Calçada	Parede de tijolo	Parede de tijolo	Parede de tijolo	Parede de tijolo
O	Gramado	Parede de tijolo	Árvore (Copa)	Árvore (Copa)	Árvore (Copa)
NO	Gramado/concreto	Parede de tijolo	Árvore (Copa)	Árvore (Copa)	Árvore (Copa)

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O termômetro infravermelho, quando apontado para a angulação -10º, apresentou as temperaturas mais altas entre todas as angulações estudadas. Os horários de 16h, 17h e 18h exibem valores termais acima de 32ºC, mesmo em superfícies sombreadas. Notou-se que o pico de temperatura superficial aparente foi registrado para o setor norte com 46ºC, às 17h (Figura 8). Durante a madrugada, os setores oeste e sudoeste apresentaram temperaturas que superaram 23ºC, e algumas horas após o nascer do Sol, as mesmas superfícies revelaram aumento na temperatura. Tais variações de temperatura superficial aparente estão diretamente dependentes da massa térmica e espessura dos materiais e sua capacidade de armazenar calor. Contudo, este trabalho ressalta apenas emissão de energia infravermelha que pode ser convertida em temperatura aparente.

A seguir, os dados são exibidos em superfícies de contorno bidimensionais que unem dois conjuntos de dados numéricos. Os padrões de cores de superfície indicam áreas que contém o mesmo intervalo de valores. Na abcissa é apresentado o setor cardeal e colateral, e na ordenada, os horários das observações.

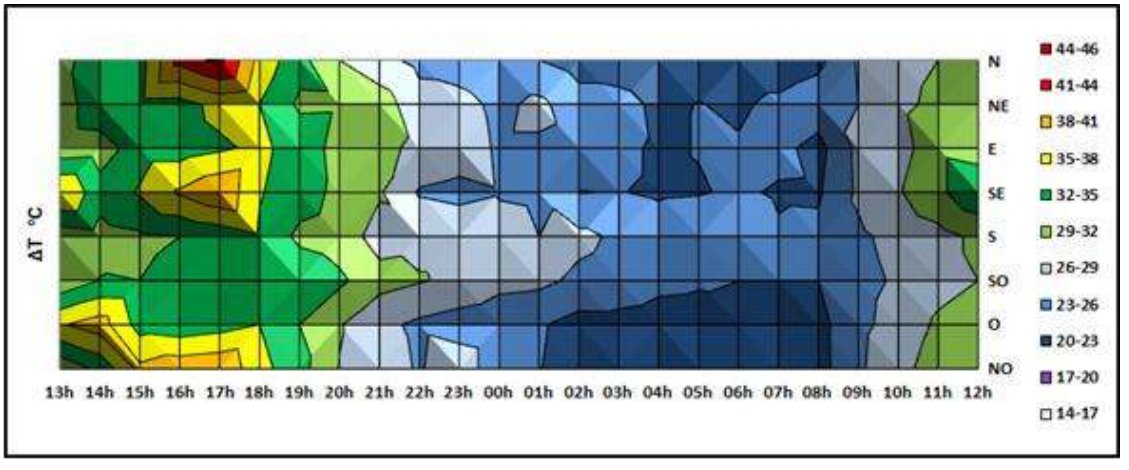


Figura 8 - Temperatura de superfície na angulação -10º para o período do experimento. Elaboração: os autores.

Para o ângulo horizontal 0º, após o pôr do Sol, as temperaturas decrescem sucessivamente em todos os setores. Contudo, para o setor sudoeste, cuja superfície é composta por calçada de concreto, os valores revelam um atraso na perda de temperatura, pela capacidade da superfície em armazenar energia térmica, que permaneceu em 24ºC, aproximadamente. Em outros setores houve um predomínio de temperaturas mais baixas com valores entre 20ºC e 23ºC, durante a madrugada devido as superfícies não terem capacidade de armazenar energia por muitas horas após o pôr do Sol (Figura 9).

Constatou-se que o limitado fator de visão do céu, derivado da obstrução de elementos arbóreos e superfícies verticais, provocou intenso sombreamento em várias horas do dia, de tal maneira que os registros térmicos não foram demasiadamente elevados para uma camada tão próxima a superfície horizontal, com valores entre 32ºC e 37ºC.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

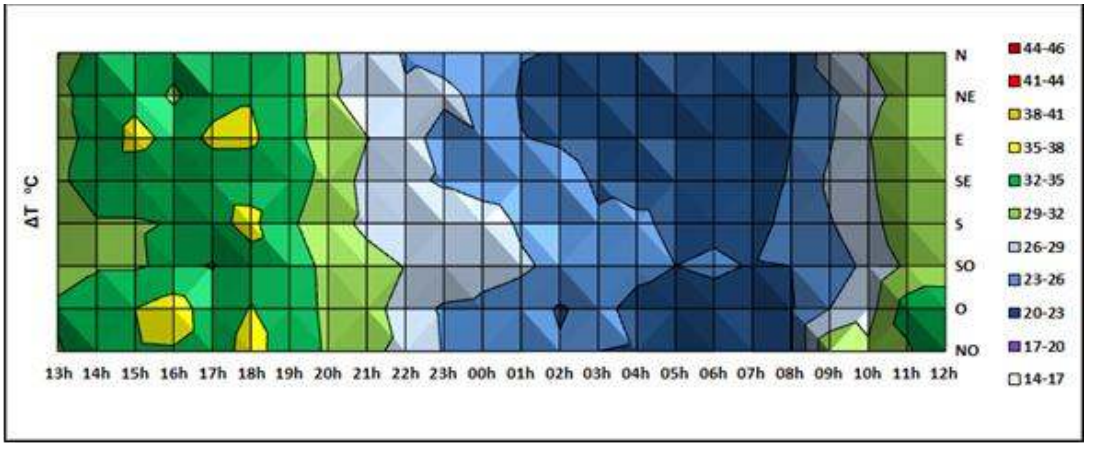


Figura 9 - Temperatura de superfície na angulação 0º para o período do experimento. Elaboração: os autores.

Na angulação 10º, notou-se que as os valores superaram 35ºC entre às 15h e 17h, sendo que o alvo observado pelo sensor foi à copa interna das árvores. Merece destaque os registros observados no setor leste durante o período da madrugada, que revelaram temperaturas superficiais de 17ºC, e nas primeiras horas da manhã as temperaturas continuaram arrefecidas. Inversamente, no setor sudoeste houve regularidade da temperatura entre 1h e 5h, de aproximadamente 25ºC.

Para a angulação 25º, notou-se que a amplitude da temperatura superficial aparente foi menor que nos demais ângulos. As temperaturas máximas ocorreram nos horários de 12h e 18h, registrando até 35ºC. Todavia, as temperaturas mínimas ocorreram entre 4h e 5h, com destaque para o setor sudoeste que relevou os menores valores para o período. Superfícies como paredes de tijolo revestidas de concreto mostram a perda de calor tardia após as 18h.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

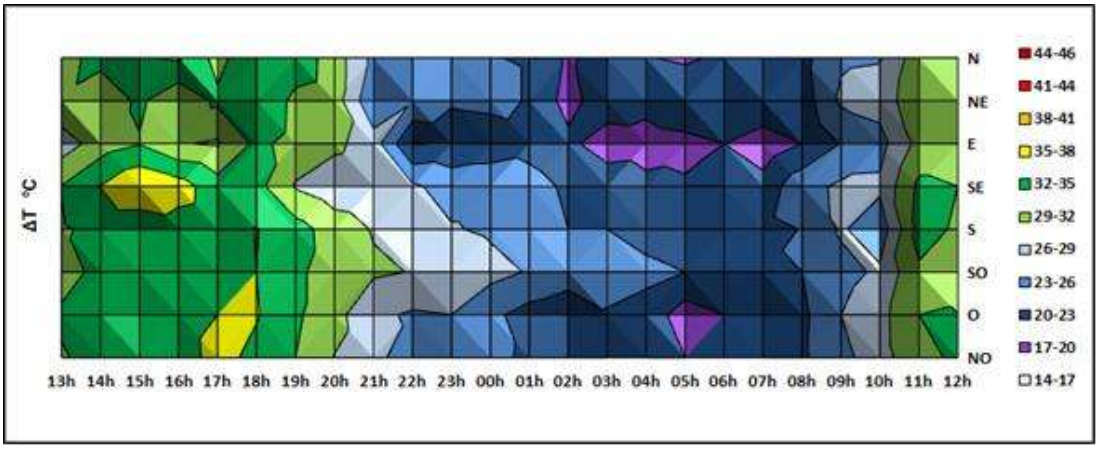


Figura 10 - Temperatura de superfície na angulação 10º para o período do experimento. Elaboração: os autores.

O setor sudoeste do ângulo 25º é um exemplo didático que ilustra temperaturas próximas a 30ºC entre 13h e 16h, o ganho de calor devido à radiação solar incidindo diretamente sobre a superfície nos horários de 17h e 18h, o lento declínio dos valores até às 4h da manhã, com temperaturas próximas de 20ºC, e por fim, o aumento dos valores a partir das 9h (Figura 11).

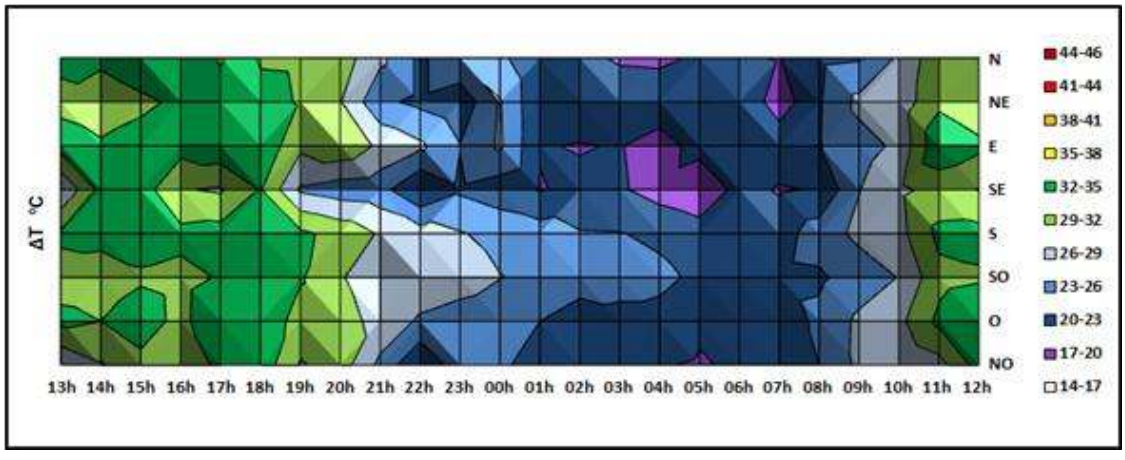


Figura 11 - Temperatura de superfície na angulação 25º para o período do experimento.Elaboração: os autores.

Na observação da camada mais elevada do experimento, a angulação 35º ilustra grande variação das temperaturas. As superfícies sobrejacentes são compostas por copa de árvores, exceto para os setores sul e sudoeste, com paredes de tijolos revestidas de concreto. Nestas últimas, as temperaturas mínimas foram observadas pouco antes do nascer do Sol, com registros de 20ºC, aproximadamente, devido ao porte das árvores e suas densas folhas em obstruir a luz solar no interior das superfícies. O calor diurno é armazenado na massa dos elementos que compõem a envoltória das edificações. Quando maior a massa térmica de um material, maior a sua capacidade de acumular calor.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Nos demais setores, a copa das árvores revelou perda de calor entre 3h e 6h da manhã, com temperaturas inferiores a 18ºC, possivelmente associadas às trocas térmicas nas camadas mais elevadas do estrato da atmosfera urbana inferior e, pela redução da temperatura superficial aparente provocada pela evapotranspiração das folhas, a copa das árvores atuaram como um isolante térmico das camadas subjacentes no ambiente estudado. Para o setor leste, o ganho de temperatura ocorreu após as 9h devido o sombreamento provocado pelos mesmo elementos arbóreos, como ilustra a Figura 12.

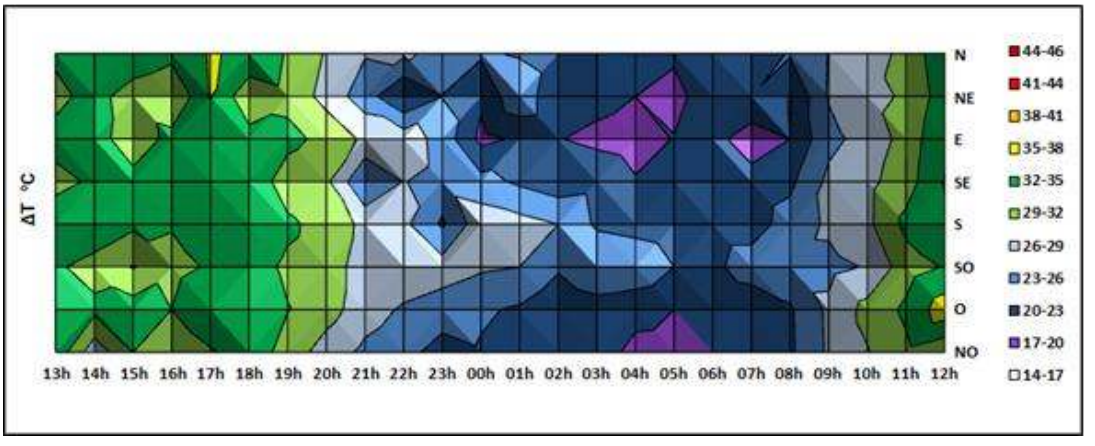


Figura 12 - Temperatura de superfície na angulação 35º para o período do experimento. Elaboração: os atores.

Em síntese, os ângulos estudados revelam que a copa das árvores diminui de maneira significativa a radiação solar incidente sobre as camadas mais próximas ao chão ou para as superfícies cuja radiação não incide de maneira perpendicular, como ilustrado no ângulo de zero graus [0º].

As superfícies verticais dispostas nos setores sul e sudoeste impõem características heterogêneas de emissão de calor, o que foi evidenciado no período noturno. Verificou-se que nas angulações 25º e 35º, os valores se mantiveram elevados em oposição às temperaturas menores em outras superfícies, corroborando com estudos anteriores (MACHADO E AZEVEDO, 2006) em que o saldo da radiação em ondas longas é positivo no período noturno, principalmente pela situação de reduzida visão do céu.

Para uma idealização completa do balanço de energia das superfícies observadas em pontos fixos, é necessário levar em conta todos os fluxos radiativos de energia, como as fontes antrópicas nos espaços livres, estacionamento e tráfego de veículos próximos ao local do experimento e do interior das edificações. Levam-se em conta possíveis erros procedimentais no momento de aquisição dos dados realizados manualmente pelo operador, e não menos importante, a sucessão dos tipos de tempo sobre a localidade. Nos dias do referido experimento os estados atmosféricos foram marcados pela massa tropical atlântica, que em alguns períodos do dia, as esparsas nuvens atenuaram a incidência da radiação solar direta sobre os alvos observados.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

CONSIDERAÇÕES

O experimento revelou que as temperaturas nas superfícies horizontais (ângulo 10º) são demasiadamente elevadas, como também na base das estruturas verticais, próximas de asfaltos e calçadas de concreto. É aceitável que a temperatura do ar fosse mais elevada nesses ambientes em decorrência de sua proximidade com o solo e pelo resfriamento lento da coluna de ar que preenche a camada abaixo do dossel arbóreo, associado também à estabilidade atmosférica e consequente ausência de fluxos advectivos.

Todavia, por se tratar de um ambiente com limitada visão do céu, as superfícies verticais dos setores sul e sudoeste apresentaram desempenhos distintos nos diferentes estratos observados. No período noturno tais superfícies tiveram valores térmicos decrescidos nas angulações 0º, 10º e 25º provocado pelo sombreamento no dia 04/02/2014, mas para os ângulos -10º e 35º constatou um atraso na perda de calor nos horários noturnos.

Recomenda-se que experimentos dessa ordem sejam realizados sob o domínio de tropicalização de sistemas atmosféricos polares, chamado de dia crítico experimental de calor (VECCHIA, 1997), pois se aproxima o mais fielmente possível da insolação teórica plena, onde a radiação solar incide sobre todos os alvos, sem a interferência das nuvens, situação que ocorre frequentemente na estação de inverno nesta região de estudo. Desta forma, com saldo favorável de entrada de energia, ter-se-ia a evidência que a radiação de onda longa emitida pelos objetos foi estimulada pela entrada de radiação de onda curta solar plena.

A experimentação nos ângulos superiores a 10º é válida para porções da cidade que tenham grandes elementos edificados ou dossel arbóreo de grande porte. Necessariamente, tal metodologia precisa ser adaptativa, dependendo do local escolhido pelo pesquisador, para que os fluxos em onda longa sejam realizados com precisão, a fim de evitar que os dados coletados sejam inservíveis para futuras análises. Para idealizações empíricas e ensaios mais assertivos do fluxo radiativo na cota do pedestre, sugerimos que as medições sejam realizadas nas angulações de -10º e 0º (sensor apontado para o chão e altura média dos pedestres) em cidades de pequeno porte e/ou localidades desprovidas de grandes elementos arbóreos e edificados.

A análise termodinâmica da cidade abre caminhos para outras formas de estudos em clima urbano, especificamente o balanço de energia nas camadas intra-urbanas para a identificação de ilhas e arquipélagos de calor e o entendimento dos insumos e as componentes do canal termodinâmico (Sistema Clima Urbano - MONTEIRO, 1976 e OKE, 1982).

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelos equipamentos adquiridos por meio do Processo Nº 2011/51260-7; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. International Journal of Climatology, 23, 1–26, 2003. DOI: 10.1002/joc.859

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Antropometria e estado nutricional de crianças, adolescentes e adultos no Brasil (2009). Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009_encaa/tabelas_pdf/tab2_3.pdf. Acesso em: 2 de Julho de 2013.

JOHNSON, G. T. et al. Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night. Part 1: Theory and tests against field data. Boundary-Layer Meteorology, 56, 275–294, 1991. DOI: 10.1007/BF00119211

LIMA, N. R.; PINHEIRO, G. M.; MENDONÇA, F. Clima urbano no Brasil: Análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. Revista GEONORTE, Edição Especial 2, V.2, N.5, p.626 – 638, 2012.

MACHADO, A. J.; AZEVEDO, T. R. A distribuição espacial dos termos do balanço de energia em superfície a partir de imagem orbital. Revista do Departamento de Geografia (USP), v. 19, p. 81-91, 2006. DOI: http://dx.doi.org/10.7154/RDG.2006.0019.0007

MACHADO, A. J. Distribuição espacial do fluxo radiativo em ondas longas na Região Metropolitana de São Paulo. 2009. Tese (Doutorado em Geografia Física). Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MACHADO, A. J. Fluxos radiativos da Avenida Paulista - São Paulo, SP – discutidos a partir da análise das formas. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.33, v.2, p.21-41, ago/dez.2011.

MONTEIRO, C. A. F. A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo. Estudo geográfico sob a forma de Atlas. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1973.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. 1976. 181f. Tese (Livre Docência) – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. (Org). Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2003.

NAKAMURA, Y.; OKE, T. R. Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. Atmospheric Environment, 22(12), 2691–2700, 1998. DOI: 10.1016/0004-6981(88)90437-4

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. Quat. J. R. Met. Soc. v. 108, nº455, p. 1-24, 1982. DOI: 10.1002/qj.49710845502

OKE, T. R. Urban Observations, Instruments and Methods of Observation Programme, IOM Report, World Meteorol. Organiz., Geneva, in press. 2004.

STEWART, I. D. A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. Int. J. Climatol., 31: 200–217, 2011. DOI:10.1002/joc.2141

VECCHIA, F. A. S. Clima e ambiente construído: a abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano. 1997. Tese (Doutorado em Geografia Física), Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Complete Urban Surface Temperatures. Journal of Applied Meteorology, 36, p. 1117 – 1132, 1997. DOI: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1997)036<1117:CUST>2.0.CO;2

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Radiometric Temperatures of Urban Canyon Walls obtained from Vehicle Traverses. Theoretical and Applied Climatology, 60, N. 1-4, p. 199-217, 1998. DOI: 10.1007/s007040050044