

TEMPERATURA SUPERFICIAL EM DIFERENTES SUPERFÍCIES COM A INFLUÊNCIA DE ESPÉCIE ARBÓREA

Marcela P. Silva (1); Juliana L. Soza (2); João R. G. de Faria (3); Maria Solange G. de Castro Fontes (4)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UNESP, marcelapaduas@hotmail.com

(2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UNESP, julianalsoza@hotmail.com

(3) Engenheiro, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UNESP, joaofari@faac.unesp.br

(4) Arquiteta, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UNESP, sgfontes@faac.unesp.br

RESUMO

Os microclimas de um recinto são determinados pelas características térmicas de suas superfícies. Em espaços abertos, os microclimas também são influenciados pelos níveis de sombreamento, muitas vezes proporcionadas pelas árvores, que interferem no acesso solar das superfícies. Nesse contexto, o presente trabalho avalia a atenuação da incidência de radiação solar, expressa pelas temperaturas das diferentes superfícies que ela atinge à sombra de diferentes espécies arbóreas. Para isso, foi realizado um estudo de caso no qual as temperaturas de superfícies recobertas por grama (do tipo *Paspalum notatum fluegge*, conhecida por grama Mato Grosso), concreto liso e asfalto, à sombra de exemplares de árvores dos tipos *Licania tomentosa* (oiti), *Shizolobium parahyba* (guapuruvu) e *Erythrina velutina* (suinã), foram medidas através de imagens térmicas, em dois períodos distintos do ano. Conclui-se que a atenuação do efeito da radiação solar depende não somente da permeabilidade à passagem da radiação solar pelas copas (crescente na sequência oiti-guapuruvu-suinã), mas também da natureza dos recobrimentos: a temperatura superficial de materiais inertes (calçada e asfalto) depende de suas emissividades térmicas, enquanto que em recobrimentos vegetais contam com a conversão de calor sensível em latente por evapotranspiração. Assim, o gramado apresenta sempre menor temperatura superficial que as outras superfícies estudadas, seja qual for a espécie arbórea que o sombreie.

Palavras-chave: temperatura superficial, microclima, arborização.

ABSTRACT

The microclimates of a closed space are determined by the thermal characteristics of the surfaces that compose it. In open spaces, microclimates are also influenced by shade levels, often provided by trees, which influence solar access to surfaces. In this context, the present work evaluates the attenuation of the incidence of solar radiation, expressed by the temperatures of the different surfaces that it reaches in the shade of different tree species. For this, a case study was carried out in which the surface temperatures covered by grass (*Paspalum notatum fluegge*, known as Mato Grosso grass), smooth concrete and asphalt, in the shade of trees *Licania tomentosa* (oiti), *Shizolobium parahyba* (guapuruvu) and *Erythrina velutina* (swine) were measured through thermographic images in two distinct periods of the year. It is concluded that the attenuation of the effect of solar radiation depends not only on the permeability to the passage of solar radiation from the canopies (increasing in the oiti-guapuruvu-suinã sequence), but also on the nature of the coverings: surface temperature of inert materials (sidewalk and asphalt) depends on its thermal emissivity, while plant coverings rely on the conversion of sensible heat into latent by evapotranspiration. Thus, the lawn always presents a lower surface temperature than the other surfaces studied, regardless of the arboreal species that shade it.

Key words: surface temperature, microclimates, afforestation.

1. INTRODUÇÃO

O espaço urbano substitui os materiais originais por superfícies inertes (asfalto e concreto), cujas propriedades térmicas são responsáveis por maiores taxas de armazenamento de calor, que causam maiores temperaturas superficiais e, conseqüentemente, maiores temperaturas do ar circundante. Por outro lado, esses materiais podem conviver com vegetação, a qual, pelo sombreamento que proporciona, e por seu balanço energético peculiar (que envolve conversão de energia fotossintética e evapotranspiração), ameniza os microclimas do entorno próximo. Apesar da importância do sombreamento arbóreo na amenização microclimática em ambientes tropicais, ainda existe pouca quantidade de informação sobre o comportamento da radiação solar através das árvores (LABAKI *et al.*, 2011).

A arborização urbana é proposta como forma de proporcionar uma ambiência mais agradável tanto pelo aspecto visual, como pelo sombreamento para os pedestres e pela mitigação do clima urbano de forma geral. Vários estudos (SANTILLÁN-SOTO *et al.*, 2015; VALLATI e GALLI, 2013; MASCARÓ, 2012, entre outros) que comparam as temperaturas superficiais de diferentes recobrimentos expostos à radiação solar direta e à sombra são consensuais ao apontar as vantagens da vegetação como elemento regulador microclimático.

Santillán-Soto *et al.* (2015), ao estudar superfícies cobertas por asfalto, concreto, argila, filme de poliestireno branco e grama, expostos ao sol, concluíram que a grama e o filme de poliestireno branco são mais efetivos na redução de efeitos de ilha de calor urbana, devido à sua menor relação entre a emissão de ondas longas e o balanço líquido de radiação. Além disso, o poliestireno branco reflete mais a radiação de ondas curtas incidente, o que o torna interessante como revestimento superficial de paredes e coberturas de edifícios.

Vallati e Galli (2013) através da comparação entre o comportamento térmico de superfícies recobertas por asfalto e gramíneas, expostas ao sol e à sombra de árvores, verificaram que arranjos de árvores reduzem mais efetivamente as temperaturas tanto das superfícies sob sua sombra como do ar sob seu dossel (1,2 m do solo), pela redução da velocidade do ar sob elas, através da qual o microclima passa a contar com o benefício da evapotranspiração; as gramíneas reduzem substancialmente a temperatura superficial e do ar sobre sua superfície quando comparadas ao asfalto. Na mesma linha, Monteiro e Alucci (2010) concluem que áreas sombreadas por vegetação apresentam melhor desempenho térmico do que as sombreadas por membranas têxteis tensionadas.

De acordo com Mascaró (2012), o sombreamento da vegetação de médio e grande porte ameniza o aquecimento superficial, chegando a reduzi-lo na ordem de 9 a 10 °C, quando a copa é densa; além disso, a autora verificou que as temperaturas superficiais em revestimentos de blocos de concreto vazados, preenchidos com vegetação rasteira são muito próximas às de gramados, enquanto que os de concreto e asfalto apresentam temperaturas superficiais pelo menos 10° C acima das encontradas nas superfícies anteriores.

Dessa forma, as pesquisas indicam, de forma geral, que o bom desempenho térmico microclimático depende da natureza tanto dos elementos de sombreamento quanto das superfícies que estão sendo sombreadas.

Cada uma das pesquisas abordadas emprega métodos distintos: Santillán-Soto *et al.* (2015) fizeram balanço de fluxos das superfícies através de monitoramento com estação meteorológica portátil; Vallati e Galli (2013) usaram de simulações computacionais com o programa ENVI-met e nos trabalhos apresentados por Mascaró (2012), apesar de não serem descritos os instrumentos, devem ter sido usados termômetros convencionais, pela idade dos estudos. Outro método promissor é a termometria por infravermelho, conforme empregado por Fernandes *et al.* (2015). No entanto, ela é mais adequada para avaliações qualitativas ou para o estudo de superfícies de emitância uniforme, devido à necessidade de ajustar seus parâmetros de funcionamento às condições ambientais (FLIR SYSTEMS, 2013a).

Neste contexto, o presente trabalho avalia a temperatura superficial de superfícies recobertas com grama, concreto e asfalto, sob a sombra de 3 diferentes espécies arbóreas. Cria-se, dessa forma, uma informação indireta do balanço térmico do conjunto das espécies estudadas em conjunto com as superfícies sombreadas.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é avaliar a eficiência do sombreamento de três espécies arbóreas e sua interação com diferentes coberturas superficiais.

3. MÉTODO

Para atingir o objetivo do trabalho, o método empregado utilizou a medição da temperatura superficial sobre um gramado de *Paspalum notatum fluegge* (grama mato grosso), uma calçada de concreto e uma superfície asfaltada, sob a sombra de exemplares de três espécies arbóreas: *Licania tomentosa* (oiti), *Shizolobium parahyba* (guapuruvu) e *Erythrina velutina* (suinã). A área de estudo fica localizada no estacionamento do Campus da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Bauru (Figura 1).

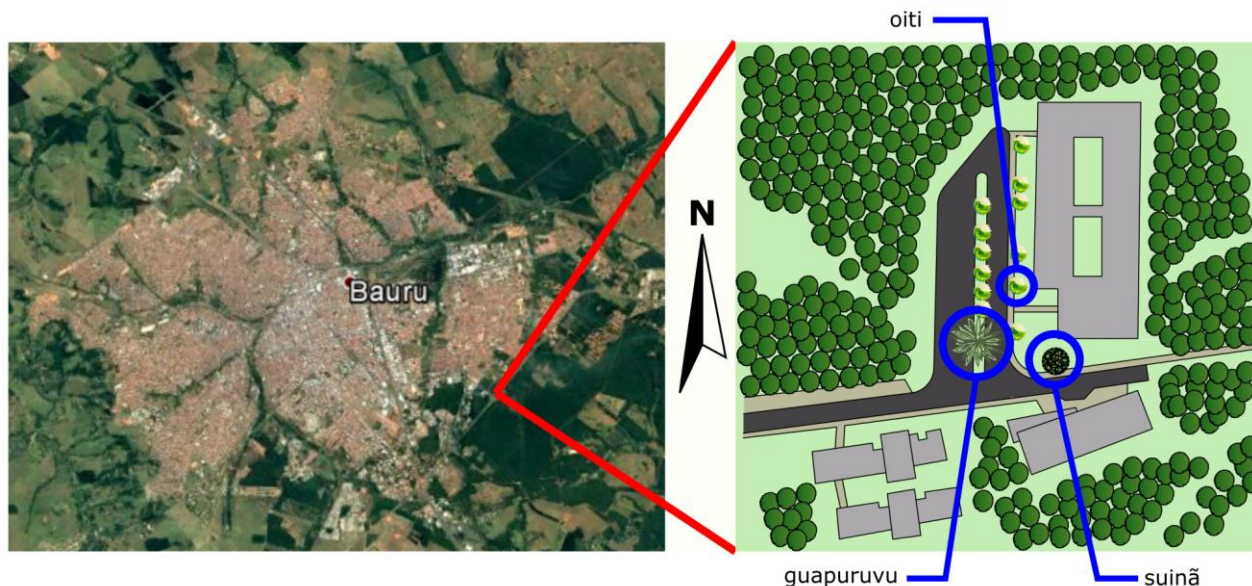


Figura 1 – Localização da área de estudo na mancha urbana de Bauru. Em destaque, os exemplares estudados.
Fonte da imagem da mancha urbana: Google Earth, acesso: 04 jun. 2015.

O oiti (Figura 2a) é uma árvore perenifólia, de copa densa. O exemplar estudado é de porte médio, com aproximadamente 5 m de altura e copa com diâmetro de aproximadamente 5 m. O guapuruvu (Figura 2b) é decíduo, com copa alta e aberta, bastante transparência, de folhas compostas bipinadas. O exemplar na área de estudo tem aproximadamente 12 m de altura. A suinã (Figura 2c) é também decídua durante a floração, no final de agosto; apresenta porte médio e copa grande com folhas largas. O exemplar analisado tem em torno de 8 m.



Figura 2 – Exemplos estudados: a) oiti; b) guapuruvu; c) suinã. Imagens de 06/06/2016.

O levantamento das temperaturas superficiais foi feito com uma câmera termovisora Flir E6 série Ex, a qual foi calibrada para cada uma das superfícies estudadas, conforme os procedimentos descritos por Flir Systems (2013b), usando-se fita isolante preta e papel alumínio. As emissividades resultantes da calibração foram: gramado: 0,97; calçada: 0,97; asfalto: 0,97. As temperaturas superficiais levantadas correspondem ao valor médio da área central de cada imagem (Figura 3).

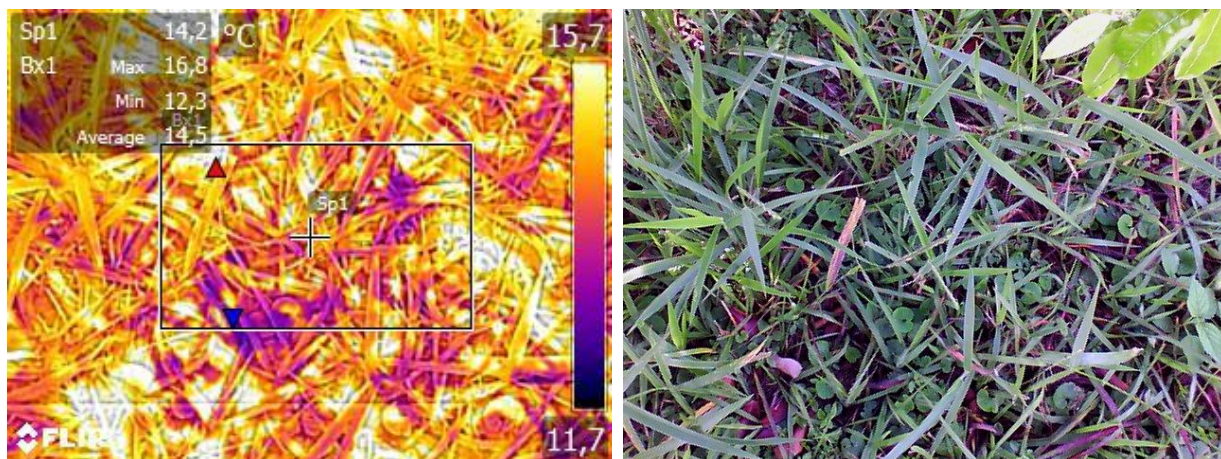


Figura 3 – Exemplo de imagem térmica ao lado da correspondente foto. Em destaque a área de medição da temperatura superficial.

Foram realizadas medições de referência de temperaturas das três superfícies ao sol. As medições das temperaturas superficiais à sombra foram feitas no pé do tronco da árvore e a cada metro de distância a partir dele (Figura 4) nos três tipos de superfície. Elas ocorreram nos horários das 11h30min, 12h30min e 13h30min, período no qual há maior incidência de radiação solar e com menor variabilidade. Os dias de medição foram 6 de junho de 2016 e 20 de fevereiro de 2017, escolhidos por apresentarem céu predominantemente limpo ao longo dos períodos de levantamento.

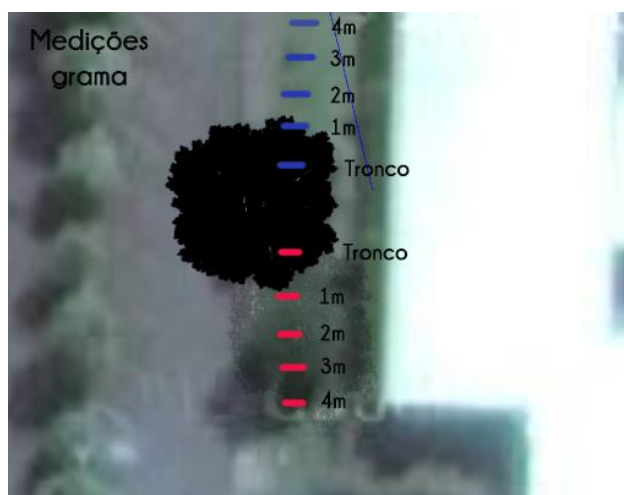


Figura 4 – Pontos de medição de temperatura superficial do gramado ao sol e à sombra.

Não foi possível realizar medições sobre a calçada à sombra do guapuruvu (Figura 5) devido à posição da árvore em relação àquela superfície.

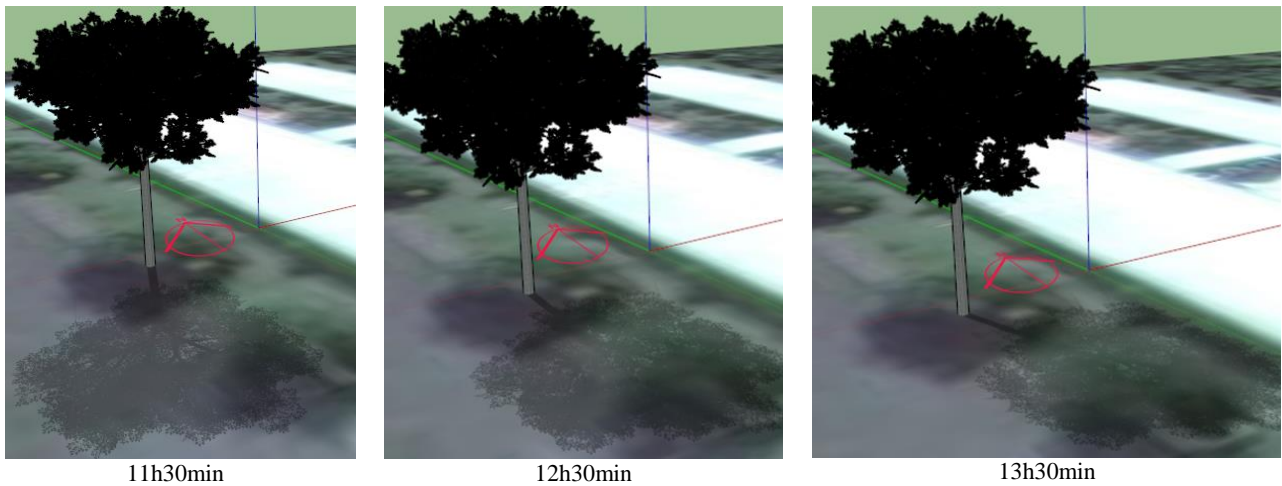


Figura 5 – Variação do sol nas superfícies nos horários analisados em relação ao guapuruvu.

As temperaturas superficiais médias para cada superfície ao redor das árvores foram comparadas entre si através de gráficos *boxplot* (máximo, mínimo 1° e 3° quartís, mediana), cujas variáveis serviram de entrada ao teste de Tukey. Assumiu-se a hipótese que as temperaturas superficiais são significativamente semelhantes a um nível de confiança de 95%. Assim, na discussão dos resultados, os termos que exprimem diferenças e similaridade assumem o sentido de rejeição e aceitação da hipótese, respectivamente.

Devido à pequena quantidade de dados levantada no experimento e ao restrito número de exemplares arbóreos empregados, os resultados do trabalho não oferecem robustez estatística para fundamentar de forma conclusiva os achados. No entanto, eles podem ser interpretados como tendências a serem explorados em trabalhos mais aprofundados sobre o tema.

4. RESULTADOS

A Figura 6 apresenta as distribuições de temperaturas superficiais à sombra por tipo de superfície para cada espécie arbórea e na Figura 7 os mesmos dados são agrupados por espécie arbórea para cada tipo de superfície.

Devido à grande opacidade de sua copa, a sombra do oiti sempre resulta em temperaturas superficiais menores que as demais, embora não raro essas diferenças não sejam significativas; elas se tornam mais evidentes no período quente (Figura 6). A copa do guapuruvu apresenta grande permeabilidade à passagem da radiação solar (Figura 2b), causando maior aquecimento em especial do asfalto, principalmente no período frio, que coincide com a queda de suas folhas. A copa da suinã apresenta, no período quente, agrupamentos compactos de folhas e regiões vazias, responsáveis pela dispersão das temperaturas superficiais; no período frio a distribuição de folhas é mais homogênea, como mostra a baixa dispersão dos dados. A transparência das copas à passagem da radiação solar decresce do oiti para o guapuruvu, e a suinã ocupa a posição intermediária.

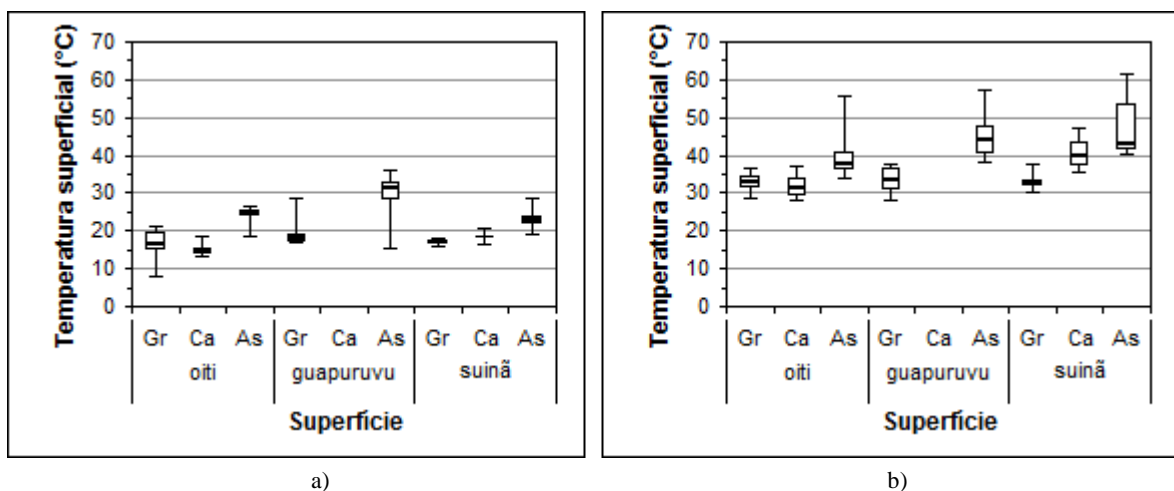


Figura 6 – Temperaturas superficiais à sombra das árvores sobre gramado (Gr), calçada (Ca) e asfalto (As), medidas em: a) 06/06/2016; b) 20/02/2017.

As propriedades da superfície (Figura 7) são também um fator de extrema importância na descrição do fenômeno que resulta nos valores de temperatura superficial obtidos. Assim, as temperaturas superficiais do gramado são semelhantes em cada período de medição, independentemente da espécie que o sombreie (exceto sob a sombra da copa do guapuruvu no período frio). Isso permite concluir que a conversão ativa da energia radiante (por evapotranspiração e fotossíntese), única propriedade que distingue o gramado das demais superfícies, tem papel fundamental na amenização microclimática, o que vai ao encontro das observações de Vallati e Galli (2013).

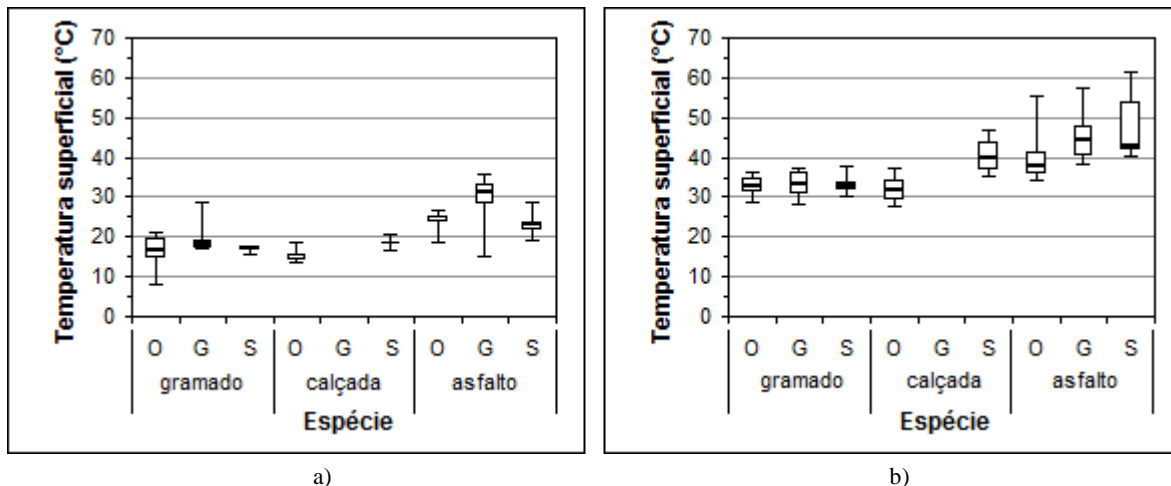


Figura 7 – Temperaturas superficiais à sombra do oiti (O), do guapuruvu (G) e da suinã (S), medidas em: a) 06/06/2016; b) 20/02/2017.

Na Figura 8 são mostradas as distribuições de temperaturas superficiais ao sol nos dois dias de medição ($n = 92$ e $n = 115$, respectivamente), com a constatação óbvia que no período quente (20/02/2017) elas são maiores que no período frio (06/06/2016). Chama a atenção à alteração das distribuições: enquanto no período frio as temperaturas do gramado e da calçada são similares e as do asfalto são superiores, no período quente as temperaturas superficiais da calçada e do asfalto é que são similares e superiores às do gramado. Nota-se também, principalmente no período quente, uma grande variabilidade nas distribuições de temperatura superficial do gramado. Ela pode ser atribuída à heterogeneidade do recobrimento: a grama estava alta, portanto, com grande quantidade de superfícies verticais, além da exposição de parcelas de solo nu entre as touceiras da grama (mesmo no período frio).

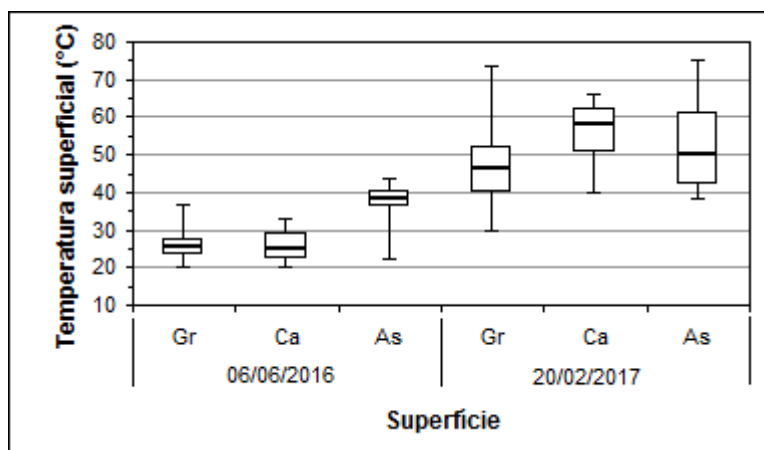


Figura 8 – Distribuições de temperaturas superficiais nos dois dias de medição sobre gramado (Gr), calçada (Ca) e asfalto (As).

Por fim, observa-se o que a bibliografia apresenta através de muitos estudos: que as temperaturas superficiais de gramados, calçadas e asfalto aumentam progressivamente da primeira para a última superfície.

As informações da Tabela 1 fundamentam estatisticamente as explicações anteriores sobre as diferenças de comportamento térmico das sombras das espécies arbóreas e dos recobrimentos superficiais.

Tabela 1 – Probabilidades das temperaturas superficiais serem semelhantes, calculadas a partir do teste de Tukey

Data de medição	06/06/2016		20/02/2017	
Temperaturas das superfícies ao sol				
Superfície	calçada	asfalto	calçada	asfalto
grama	0,85	< 0,05	< 0,05	< 0,05
calçada	-	< 0,05	-	0,16
Temperaturas da grama à sombra				
Espécie arbórea	guapuruvu	suinã	guapuruvu	suinã
oiti	0,06	0,77	0,86	0,96
guapuruvu	-	0,11	-	0,87
Temperaturas da calçada à sombra				
Espécie arbórea	guapuruvu	suinã	guapuruvu	suinã
oiti	1	< 0,05	1	< 0,05
guapuruvu	-	1	-	1
Temperaturas do asfalto à sombra				
Espécie arbórea	guapuruvu	suinã	guapuruvu	suinã
oiti	0,09	0,70	< 0,05	< 0,05
guapuruvu	-	< 0,05	-	0,57

¹ Sem dados

A Figura 9 mostra que não houve tendência de alteração da temperatura superficial em relação à distância de medição do tronco da árvore. Ocorreram variações de temperatura em função de vazios no interior das copas, principalmente sob as sombras do guapuruvu e da suinã.

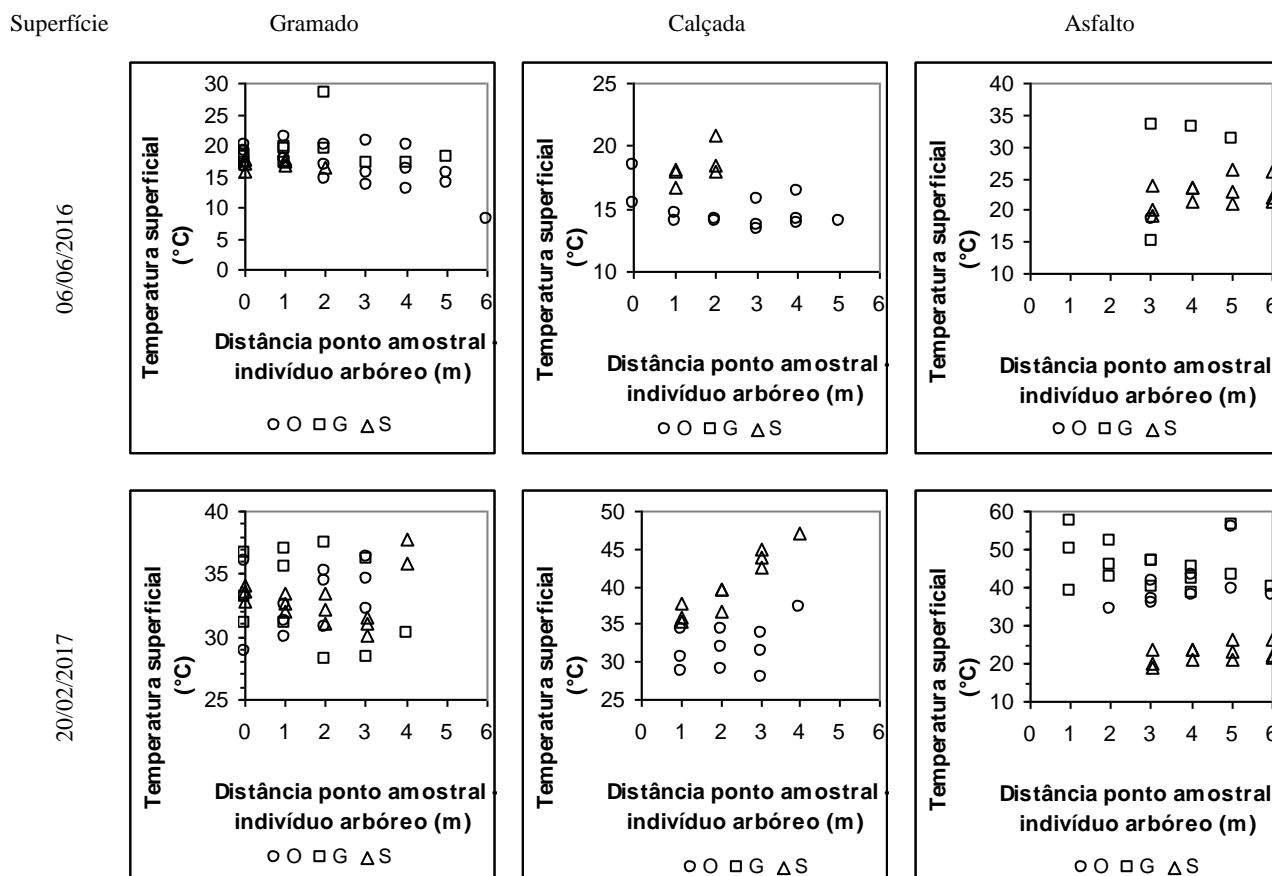


Figura 9 – Temperaturas superficiais à sombra em função da distância entre o ponto amostral e o indivíduo arbóreo

Conforme exposto ao final do tópico 3, apesar do uso do teste de Tukey para auxiliar a discriminar as diferenças significativas de temperaturas, os resultados não fornecem robustez suficiente para serem extrapolados enquanto valores, embora as tendências por eles apontadas sejam válidas.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa mostra que a medição de temperaturas superficiais é um bom parâmetro para a estimativa do desempenho térmico de árvores, enquanto elementos de sombreamento, e recobrimentos superficiais sob sua sombra. O método da termografia mostra-se viável para esse tipo de levantamento, devido à mobilidade da câmera térmica e da facilidade dos ajustes necessários.

Também fica evidenciada a importância da combinação de espécies arbóreas que retenham a porção adequada de radiação solar e de superfícies sob elas cujas propriedades (basicamente a emissividade térmica) lhes permitirão ser adequadamente aquecidas; além disso, recobrimentos vegetais apresentam temperaturas superficiais menores do que a de recobrimentos inertes convencionais por contarem com mecanismos de conversão de calor sensível em calor latente.

Por fim, por extensão das análises, a pesquisa mais uma vez corrobora o clássico resultado da sequência ascendente de temperaturas superficiais à sombra ou ao sol: gramado, calçada, asfalto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERNANDES, L. C.; LANGE, S. C.; KRÜGER, E. L. Aumento de temperaturas superficiais ocasionado pelo tráfego automotivo em rua de Curitiba. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Campinas: ANTAC, 2015, p. 1-10.
- FLIR SYSTEMS. **User's manual - Flir Ex series**. Wilsonville, OR, 2013a.
- FLIR SYSTEMS. **FLIR Emissivity Webinar | Instrumart**. Wilsonville, OR, 2013b. Disponível em: <goo.gl/k9oLYc>. Acesso em: 18 mai. 2015.
- GALLI, G.; VALLATI, A. thermal characteristics of urban surface materials. **Advanced Materials Research**, v. 629, p 443-447, 2013.
- KRÜGER, E. L.; BARBOSA, M. A. A influência da vegetação no microclima de áreas residenciais e na tecnologia construtiva: Estudo de caso realizado na Vila Tecnológica de Curitiba. XII ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2008, p. 1-10.
- LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. S.; BUENO-BARTHOLOMEI, C. L.; ABREU, L. V. Vegetação e conforto térmico em espaços urbanos abertos. **Fórum Patrimônio: Mudanças climáticas e o impacto das cidades**, Belo Horizonte, v. 4, n. 1, p. 23-42, 2011.
- MASCARÓ, J. J. A infraestrutura verde como estratégia de sustentabilidade urbana. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Juiz de fora: ANTAC, 2012, p. 962-969.
- MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M. P. O uso da vegetação como cobertura em espaços urbanos abertos: verificação comparativa experimental de conforto térmico. XIII ENTAC-Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Canela (RS): ANTAC, 2010, p. 1-9.
- SANTILLÁN-SOTO, N.; RAFAEL GARCÍA-CUETO, R.; HARO-RINCÓN, Z.; OJEDA-BENÍTEZ, S.; QUINTERO-NÚÑEZ, N.; VELÁZQUEZ-LIMÓN, N. Radiation balance of urban materials and their thermal impact in semi-desert region: Mexicali, México - study case. **Atmosphere**, v. 6, n. 10, p. 1578-1589, 2015.