



O USO DA VEGETAÇÃO COMO COBERTURA EM ESPAÇOS URBANOS ABERTOS: VERIFICAÇÃO COMPARATIVA EXPERIMENTAL DE CONFORTO TÉRMICO

Leonardo Marques Monteiro (1); Marcia Peinado Alucci (2)

- (1) Departamento de Tecnologia – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: leo4mm@gmail.com
(2) Departamento de Tecnologia – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: marcialu@usp.br

RESUMO

Este trabalho avalia o conforto térmico em espaços urbanos abertos, levando em consideração as modificações microclimáticas produzidas pela vegetação. O objetivo desta pesquisa foi comparar o desempenho de uma área sombreada por árvores de uma área a céu aberto e de uma área sombreada por membrana têxtil tensionada. O método é experimental, no qual as medições empíricas (considerando a temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e da temperatura média radiante) foram realizadas em três áreas diferentes de um bairro na cidade de São Paulo, durante o verão e inverno, com a aplicação de mil setecentos e cinquenta questionários de conforto térmico (além da consideração de variáveis pessoais taxa metabólica, isolamento térmico da roupa e fatores de aclimatação). Os resultados mostram, em termos correlativos de condições microclimáticas e percepções de sensação térmica, o desempenho da vegetação de sombreamento, em comparação com as outras duas situações ambientais: a céu aberto e sob cobertura de membrana têxtil tensionada.

Palavras-chave: conforto térmico; espaços urbanos abertos; vegetação.

1 INTRODUÇÃO

Em climas quentes, a vegetação é um dos elementos da paisagem mais influentes com relação ao conforto térmico. Os principais efeitos de vegetação localizada, em situações específicas em meio urbano, diz respeito à radiação solar e ao vento. Contudo, o vento no meio urbano acaba sendo muito mais afetado pela configuração da forma urbana do que pela vegetação propriamente dita. Portanto, o efeito mais evidente da vegetação nas condições microclimáticas é relativa a radiação solar, enquanto os efeitos na temperatura do ar ambiente e na umidade, em termos de conforto térmico, são normalmente imperceptíveis, em situações urbanas gerais.

Neste sentido, este trabalho avalia o conforto térmico em espaços urbanos abertos, levando em consideração as modificações microclimáticas produzidas pela vegetação enquanto cobertura para sombreamento. Assim, compara-se o desempenho de uma área sombreada por árvores de uma área a céu aberto e de uma área sombreada por material têxtil tensionado. Visa-se assim comparar o desempenho da vegetação como cobertura frente a uma situação sem cobertura e também compará-lo frente a uma situação com cobertura de membrana têxtil tensionada. O método empregado é experimental, com medições empíricas de temperatura do ar, umidade do ar, velocidade do vento e temperatura média radiante. Os levantamentos foram realizados em três áreas diferentes de um bairro na cidade de São Paulo, durante o verão e o inverno, com a aplicação de quase dois mil cento e cinquenta questionários de conforto térmico. Consideraram-se ainda as variáveis pessoais taxa metabólica e isolamento térmico da roupa e fatores de aclimatação.

Os resultados finais deste artigo mostram, em termos correlativos de condições microclimáticas e percepções de sensação térmica, o desempenho da vegetação enquanto cobertura para sombreamento, comparando-a com as outras duas situações ambientais: a céu aberto e coberturas processadas.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo foi verificar o desempenho, em termos de conforto térmico, da vegetação enquanto cobertura para sombreamento, comparando-o ao desempenho de situação a céu aberto e situação com cobertura de membrana têxtil tensionada.

3 MÉTODOS

3.1 Levantamentos empíricos

O levantamento empírico foi realizado seguindo as diretrizes das normas ISO 10551 (1995), ISO 7726 (1998), ISO 8996 (1990), ISO 9920 (1995) e ASHRAE (2005). Definiu-se então o seguinte procedimento. Foram estabelecidas três bases para determinação das diversas variáveis: uma primeira a céu aberto, uma segunda sob copa de árvores e uma terceira sob cobertura têxtil tensionada. Uma base, a 10m de altura, foi estabelecida para referenciar as variáveis ambientais, situando-se espacialmente entre as três bases citadas. No total, cento e cinquenta pessoas foram entrevistadas em cada uma das três bases, em seis horários diferentes. Os procedimentos se repetiram em dias de verão e de inverno.

A execução operacional dos levantamentos foi realizada da seguinte maneira. Estabeleceram-se dois grupos de setenta e cinco pessoas. Realizaram-se os procedimentos com o primeiro grupo nos três primeiros horários, repetindo-se os procedimentos com o segundo grupo nos três horários seguintes. Cada grupo foi subdividido em três, cada um de vinte e cinco integrantes. Cada subgrupo dirigiu-se a uma base. Na primeira base, todas as pessoas receberam etiquetas identificadoras (A01-A25, B01-B25, C01-C25), responderam um questionário para verificação de características gerais (sexo, idade, peso, altura) e aclimatação (locais onde já viveu e por quanto tempo) e foram fotografadas (em grupos de cinco) para posterior identificação da vestimenta. Após esses procedimentos iniciais, todos ficaram vinte minutos expostos às condições ambientes locais, para em seguida receberem um questionário de percepção e preferência de sensação térmica. Neste questionário, perguntou-se também se alguma peça de roupa foi alterada desde o momento do registro fotográfico. Depois de respondidos, os

questionários foram recolhidos e cada grupo se dirigiu à próxima base, onde permaneceram por mais vinte minutos, realizando o mesmo procedimento até terem passado pelas três bases. O segundo grupo de setenta e cinco pessoas passou pelos mesmos procedimentos, trocando de bases em sentido inverso ao do primeiro grupo.

Os equipamentos utilizados em cada base são aqui sucintamente descritos. Na base a céu aberto, foi utilizada uma estação meteorológica marca ELE modelo EMS com sensores de temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento modelo e piranômetro Eppley, registrando-se os dados em data logger marca ELE modelo MM900 EE 475-016. Na base sob cobertura arbórea utilizou-se estação meteorológica Huger Eletronics modelo GmbH WM918, com sensores de temperatura e umidade do ar, velocidade e direção do vento, armazenando-se os dados diretamente em microcomputador portátil. Na base sob cobertura têxtil tensionada utilizou-se estação Innova 7301, com módulo de conforto (sensores de temperatura, umidade e velocidade do ar) e de estresse térmico (do qual se utilizou o termômetro de globo) registrando-se os dados em data logger de conforto térmico da mesma marca, modelo 1221. Na base a 10m de altura utilizou-se estação meteorológica semelhante (modelo GmbH WM921) à da base sob copas de árvores, enviando-se os dados para microcomputador portátil através de ondas de rádio. Os registros realizados pelos equipamentos se deram em intervalos de um minuto.

Em cada uma das três bases, foi montado um set com dois termômetros de globo. Os globos de latão utilizados apresentam diâmetro de 17 cm. Em cada set, pintou-se um globo de preto fosco e outro de cinza médio fosco. Os termômetros utilizados em cada globo são de mercúrio. A leitura e o registro dos dados deram-se a cada dez minutos. Dada o grande número de pessoas mobilizadas para o levantamento de campo em questão, decidiu-se pela realização de medições extras das variáveis ambientais caso houvesse algum problema com o registro eletrônico em curso. Assim montou-se um set com um termohigrômetro marca Homis modelo 229 e um set com quatro anemômetros marca Homis modelo 209 em cada uma das bases. Os dados de temperatura e umidade do ar foram registrados a cada dez minutos. Os dados de velocidade do ar foram registrados de cinco em cinco segundos durante um minuto, a cada dez minutos.

A tabela 1 apresenta os limites das variáveis ambientais em que se realizaram os levantamentos empíricos.

Tabela 1 – Valores limite para as variáveis microclimáticas

variável	mínimo	máximo
ta (°C)	15,1	33,1
ur (%)	30,9	94,7
va (m/s)	0,1	3,6
trm (°C)	15,5	65,5

Apesar de não ser um fator limitante para situações habituais em meio urbano nas condições microclimáticas levantadas, vale mencionar que os valores mínimo e máximo encontrados para o isolamento térmico da roupa foram de 0,3 e 1,2 clo, com valores médios entre 0,4 e 0,9 clo.

Considerando o TRY (Typical Reference Year) para São Paulo (Goulart et al., 1988), as faixas apresentadas na tabela 1 representam mais de 93% das condições climáticas anuais, considerando-se o período ao longo do dia.

A Tabela 2 apresenta os valores das variáveis microclimáticas para os diversos conjuntos de situações levantados empiricamente. A Tabela 3 apresenta os resultados dos valores médios e desvios padrão encontrados para homens e mulheres aclimatados em diferentes conjuntos de situações climáticas.

Tabela 2 – Valores das variáveis microclimáticas para os diversos conjuntos de situações levantados empiricamente.

conjuntos	situações	valor	t _{ar}	ur	v _{ar}	t _{rm}
total	72	méd	24,2	58,5	0,74	31,3
		máx	33,1	94,7	3,6	65,5
		mín	15,1	30,9	0,1	15,5
verão	36	méd	26,4	53,8	0,80	33,4
		máx	33,1	67,7	1,4	59,0
		mín	22,1	30,9	0,1	22,9
inverno	36	méd	21,9	63,2	0,67	29,2
		máx	28,9	94,7	3,6	51,4
		mín	15,1	39,5	0,2	16,0

Tabela 3 – Resultados dos valores médios e desvios padrão encontrados para homens e mulheres aclimatados em diferentes conjuntos de situações climáticas.

conjuntos	sexo	n	%	I _{cl}		Sens	
total	total	1750	100	0,56	±0,17	0,46	±1,03
	masc	652	37	0,55	±0,15	0,49	±0,98
	fem	1098	63	0,57	±0,17	0,44	±1,06
verão	total	912	100	0,47	±0,12	0,62	±0,97
	masc	330	36	0,47	±0,10	0,63	±0,93
	fem	582	64	0,47	±0,12	0,61	±1,00
inverno	total	838	100	0,67	±0,15	0,29	±1,06
	masc	322	38	0,64	±0,14	0,35	±1,02
	fem	516	62	0,68	±0,15	0,24	±1,09

3.2 Situações comparativas

As três situações estudadas para análise comparativa foram uma situação a céu aberto, uma configuração sombreada por membrana têxtil tensionada e, finalmente, uma área sobre copas de árvores, como pode ser observado na Figura 1. Essas três áreas localizam-se na Cidade Universitária, nas adjacências da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

Ressalta-se que os levantamentos tiveram caráter laboratorial, uma vez que as pessoas foram encaminhadas até o local em que seriam realizados os levantamentos, seguindo os procedimentos descritos anteriormente. A comparação dos resultados aqui obtidos com resultados em espaços abertos de situações urbanas reais (não laboratoriais) será divulgada em artigo futuro com a comparação de resultados com levantamentos feitos em outros bairros da cidade de São Paulo.



Figura 1 – Condições de visão de céu das três configurações consideradas

A Figura 2 apresenta, respectivamente, as mesmas três situações (a céu aberto, membrana têxtil tensionada, copas de árvores), mostrando uma vista panorâmica de cada uma delas e parte dos sujeitos que responderam aos questionários.



Figura 2 – Vista geral das três configurações consideradas

A Figura 3 apresenta as duas primeiras perguntas do questionário aplicado aos sujeitos, cujos resultados são considerados neste artigo.

1. Neste exato momento, eu estou sentindo:						
()	()	()	()	()	()	()
muito frio	frio	pouco frio	nem frio nem calor	pouco calor	calor	muito calor
2. Neste exato momento, com relação às condições climáticas, eu estou:						
()	()	()	()			
confortável	um pouco desconfortável	desconfortável	muito desconfortável			

Figura 3 – Primeira parte do questionário, cujos resultados são considerados neste artigo.

4 RESULTADOS

Considerando a percepção de sensação térmica, seguindo as categorias (ISO 10551, 1995) utilizadas nos questionários, resultados de -0,5 a 0,5 indicam neutralidade térmica; de 0,5 a 1,5 pouco calor; de 1,5 a 2,5 calor; acima de 2,5 muito calor; de -0,5 a -1,5 pouco frio; de -1,5 a -2,5 frio; e abaixo de -2,5 muito frio.

Os resultados em termos de percepção de sensação térmica, para o período do inverno, mostraram que

as três situações estudadas (a céu aberto, sob membrana textil tensionada, e sob copas de árvores) apresentaram sensações térmicas muito próximas para cada dado horário, não sendo possível verificar qualquer tendência. Portanto, dado o objetivo deste artigo, a apresentação de resultados e posterior discussão se focarão no período de verão e seus resultados, que, para cada situação, apresentaram diferenças significativas.

As Figuras 4 a 7 mostram esses resultados considerando as três diferentes situações em questão: a céu aberto (em azul, com marcação circular), sob membrana têxtil tensionada (em laranja, com marcação triangular), e sob copas de árvores (em verde, com marcação quadrangular).

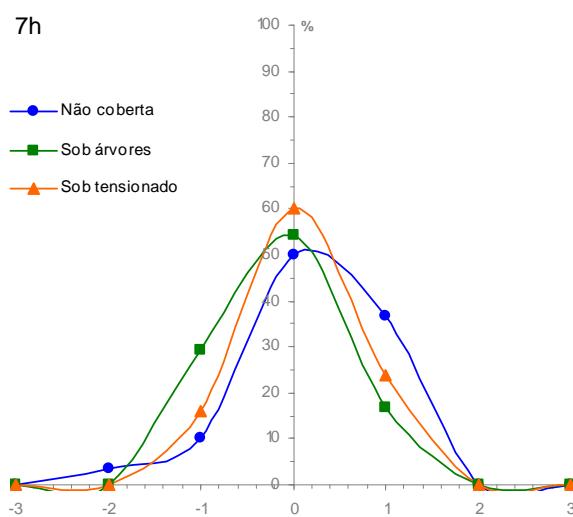


Figura 4 – Resultados em termos de percepção de sensação térmica para o período de verão (7h)

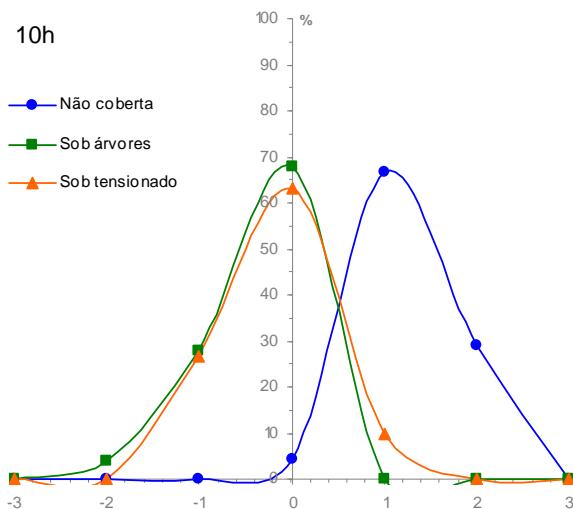


Figura 5 – Resultados em termos de percepção de sensação térmica para o período de verão (10h)

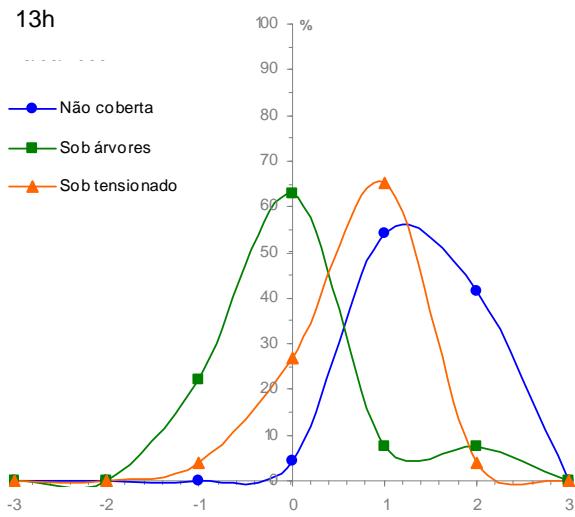


Figura 6 – Resultados em termos de percepção de sensação térmica para o período de verão (13h)

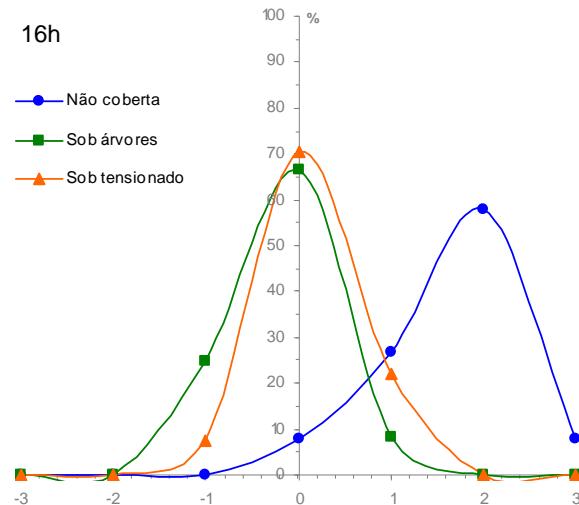


Figura 7 – Resultados em termos de percepção de sensação térmica para o período de verão (16h)

5 DISCUSSÃO

Considerando a Figura 4, pode-se observar que, no período de verão, às 7h, de 50% a 60% dos sujeitos estavam em neutralidade nas três diferentes situações estudadas. Embora os resultados apresentados para a condição de neutralidade são muito semelhantes, pode-se notar que 30% dos indivíduos sob as copas das árvores estão sentindo pouco frio e apenas 10% estão sentindo pouco calor, enquanto cerca de 20% dos indivíduos sobre membrana têxtil tensionada estão sentindo pouco frio e 20 % estão sentindo pouco calor, e sob condições de céu aberto, apenas 10% estão sentindo pouco frio e quase 40% estão sentindo pouco calor. Assim, pode-se ver que a curva da situação sob copa de árvores é ligeiramente deslocada para a situação de pouco frio, enquanto a da situação a céu aberto é ligeiramente deslocada para a situação de pouco calor, apesar da concentração de respostas recaírem na condição de neutralidade.

Os resultados em termos de percepção de sensação térmica, às 10h, na Figura 5, mostram que as situações sob copas de árvores e cobertura processada são muito próximas: cerca de 65% dos indivíduos estão em neutralidade e 30% em condições de pouco frio (embora possa ser observado que, sob copas da árvore a percentagem é ligeiramente superior e a curva é deslocada para as sensações de frio). Por outro lado, com relação a situação sob céu aberto, pode-se observar os mesmos percentuais de indivíduos com sensação de pouco calor (65%) e calor (30%). Assim, para a condição de céu aberto, os resultados fornecem uma curva muito semelhante a das outras situações, mas deslocada uma unidade completa para a direita, em direção a sensação de calor.

Considerando os resultados das 13h, na Figura 6, pode-se observar que os resultados sob copas das árvores e sob material processado abrangem situações que fornecem curvas muito semelhantes aos do período anterior, exceto pelo fato de que a curva da cobertura de material processado é deslocada uma unidade completa para a direita: cerca de 65% dos indivíduos em neutralidade sob as copas de árvores e em sensação de calor sob a cobertura processada, e cerca de 25% em condições de frio debaixo das árvores e em neutralidade sob cobertura processada. Em relação à situação a céu aberto, a curva é mais parecida com a encontrada no primeiro período, e comparados com os resultados de outras situações do mesmo período, os resultados mostram mais de 90% das pessoas com sensação de pouco calor ou calor, e apenas cerca de 5% em neutralidade.

Finalmente, na Figura 7, às 16h, os resultados sob as copas das árvores e sob material têxtil tensionado abrangem situações que fornecem curvas muito semelhantes às das 10h, embora a curva da situação sob copas de árvores é mais deslocada para a sensação de frio do que antes: cerca de 65% dos indivíduos em neutralidade sob as copas de árvores e 70% sob cobertura processada, e cerca de 25% em condições de pouco frio sob as copas das árvores e 10% sob o material processado. Considerando a situação a céu aberto, 60% dos indivíduos sentem calor, 25% sentem pouco calor e menos de 10% estão em neutralidade. Pode-se notar que quase 10% dos indivíduos estão sentindo muito calor. Em geral, mais de 90% dos indivíduos estão sentindo pouco calor, calor ou muito calor em situações de céu aberto.

6 CONCLUSÕES

A comparação dos resultados da situação sob cobertura vegetal com os das situações sob cobertura processada e a céu aberto fornecem duas conclusões principais.

A primeira, prevista e mais facilmente identificável, é que sob as configurações sombreadas (sob copas das árvores ou sob material têxtil tensionado) existem condições de sensação térmica tendendo mais para uma situação neutra do que a céu aberto, considerando um dia típico de verão em um clima tropical. Conforme foi argumentado, o efeito mais evidente de sombreamento é em relação à radiação solar, e os resultados ao longo do dia típico de verão mostraram essa característica, dado que uma pequena diferença foi observada no início da manhã e maiores diferenças foram observadas ao longo do dia, com uma diferença acentuada no meio da tarde.

A segunda conclusão, também esperada, mas não tão facilmente identificável, é que sob as copas das árvores há condições de sensação térmica tendendo mais para as situações de frio do que sob a cobertura processada (membrana têxtil tensionada), considerando um dia típico de verão em um clima tropical. As diferenças aqui são mais sutis, mas pode-se observar que todas as curvas a partir dos resultados sob as copas das árvores tendem mais para o lado esquerdo dos gráficos (sensações de mais frio) do que as da cobertura processada. Se as diferenças foram mínimas durante a manhã, pode-se observar que ao longo do dia se tornam mais significativas, porque a superfície interna da cobertura processada atinge temperaturas superficiais mais elevadas, proporcionando maior temperatura radiante média e, portanto, sensações térmicas mais quentes. Durante a tarde, embora se possa esperar que essa temperatura radiante média aumente, verificou-se sua diminuição, em virtude da significativa ação dos ventos, conduzindo a um valor de temperatura radiante média mais próximo ao observado sob as copas das árvores. Deve-se ressaltar que a cobertura processada avaliada foi uma membrana têxtil, com inércia muito baixa, logo outros materiais levariam mais tempo para terem a sua temperatura

superficial interna diminuída e, assim, poderiam proporcionar resultados ainda menos significativos.

Em suma, com base nos resultados alcançados, a partir da base empírica específica, considerando um dia típico de verão, em clima tropical, pode-se afirmar que os espaços urbanos sob copas de árvores proporcionam melhores ambientes em termos de sensação térmica do que espaços ao abrigo de coberturas processadas e ambientes muito melhores do que os espaços a céu aberto.

7 REFERÊNCIAS

ASHRAE, 2005. **Handbook of fundamentals**. Atlanta: ASHRAE.

GOULART, S. et al. **Dados climáticos para avaliação energética de edificações em catorze cidades brasileiras**. Florianópolis: UFSC, 1998.

ISO. **ISO 10551**. Ergonomics of the thermal environment: assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. Genève: ISO, 1995.

ISO. **ISO 7726**. Ergonomics: instruments for measuring physical quantities. Genève: ISO, 1998.

ISO. **ISO 8996**. Ergonomics: metabolic heat production. Genève: ISO, 1990.

ISO. **ISO 9920**. Ergonomics of the thermal environment: estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Genève: ISO, 1995.

MONTEIRO, L. M.; ALUCCI, M., 2005. **Outdoor thermal comfort: numerical modelling approaches**. In: PLEA, 22, 2005. Proceedings.

8 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos auxílios à pesquisa.