AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO POR TRÊS EXEMPLARES VEGETAIS EM CICLOVIA DE GOIÂNIA-GO

Júlia Wilson de Sá Roriz (1); Loyde V. de Abreu-Harbich (2); Karla Emmanuela Ribeiro Hora (3)
(1) Mestranda do Programa de Pós-graduação Projeto e Cidade, Bióloga, Universidade Federal de Goiás, juliawilson@discente.ufg.br
(2) Dra, Professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, loyde.harbich@mackenzie.br, Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua Itambé, 143 Prédio 9, Higienópolis – SP, 01302-907, (11)21148425
(3) Dra, Professora da Escola de Engenharia Civil e Ambiental, karla_hora@ufg.br, Universidade Federal de Goiás, Av. Universitária 1488, Goiânia-GO, 74605-220, (62)32096084

RESUMO

As árvores em ambientes urbanos são responsáveis por proporcionar sombra para pedestres e veículos, reduzindo a incidência de radiação no solo urbano, melhorando o conforto térmico, além do equilíbrio estético, entre outros. Este estudo objetiva geral avaliar quantitativamente a melhoria do conforto térmico gerado por exemplares vegetais de diferentes espécies para sombreamento de uma ciclovia em Goiânia - GO. A metodologia aplicada consiste: (a) descrição do clima local; (b) seleção dos locais de medição; (c) coleta de dados de campo; (d) analise de conforto térmico proporcionado nos locais de medição. Goiânia possui clima tropical de savana, com estação quente e seca e quente e úmida. Foi feito um estudo experimental em dois cenários distintos na ciclovia da Av. Universitária: um com palmeiras Guariroba - *Syagrus oleracea* (mart.) Becc - e outro com árvores Sibipiruna - *Cenostigma pluviosum* (DC) E. Gagmon & G.P, Lewis - e Monguba - *Pachira aquatica* Aubl. Os dados coletados foram: temperatura do ar, de globo, umidade relativa do ar e velocidade do vento através de um medidor de estresse térmico e multifuncional em quatro dias ensolarados nos horários 8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 durante o verão, sob a sombra dos exemplares vegetais e ao Sol. O *software RayMan* foi utilizado para calcular os índices de conforto térmico PET (Temperatura Fisiológica Equivalente) e UTCI (Índice de Clima Térmico Universal) e analisar a influência de obstáculos no entorno imediato. Os resultados mostraram que a espécie que mais trouxe conforto foi a Sibipiruna. Ela reduziu a temperatura do ar em até 6,8ºC e a redução da temperatura média radiante foi em até 8,4ºC. Para os ciclistas a redução do calor em termos PET foi 11ºC e em UTCI, 8,5ºC. Em termos de umidade relativa do ar, observou-se o maior aumento de 7,4% à sombra da espécie Monguba. Este estudo aponta que árvore isolada tem seus benefícios térmicos assim como agrupamentos de palmeiras, da espécie Guariroba, mas os benefícios proporcionados pelo agrupamento da espécie Sibipiruna são bem maiores, reduzindo mais efetivamente os efeitos negativos das ilhas de calor. Conclui-se que as características morfológicas entre os exemplares vegetais geram área de sombreamento diferentes, influenciando distintamente no microclima.

Palavras-chave: arborização, conforto térmico, ciclovia, clima tropical de savana (Goiânia).

ABSTRACT

Trees in urban environments are accountable for providing shade for pedestrians and vehicles, reducing the incidence of radiation on urban soil, improving thermal comfort, in addition to aesthetic balance, among others. This study aims to quantify thermal comfort improvement generated by different plant specimens for shading a cycleway in Goiânia - GO. Methodology applied: (a) description of the local climate; (b) selection of measurement sites; (c) field data collection; (d) evaluation of thermal comfort provided at the measurement sites. Goiânia has a tropical savanna climate, with hot and dry and hot and humid seasons. An experimental study was carried out in two different scenarios on the cycle path of Universitária Ave.: one with Guariroba palm trees - *Syagrus oleracea* (mart.) Becc - and the other with Sibipiruna trees - *Cenostigma pluviosum* (DC) E. Gagmon & GP, Lewis- and Monguba - *Pachira aquatica* Aubl. The data collected were: air temperature, globe temperature, air relative humidity and wind speed through a multifunctional thermal stress meter on four sunny days at 8 a.m., 10 a.m., 12 a.m., 2 p.m.; 4 p.m. during the summer, under the shade of plants and in the sun. The RayMan software was used to calculate the thermal comfort indices PET (Physiological Equivalent Temperature) and UTCI (Universal Thermal Climate Index) and to analyze the influence of obstacles in the immediate surroundings. Results showed that the species that brought the most comfort was Sibipiruna specie. It reduced the air temperature by up to 6.8º C and the average radiant temperature reduction was up to 8.4º C. For cyclists the heat reduction in PET terms was 11oC and in UTCI, 8.5º C. In terms of relative air humidity, the greatest increase of 7.4% was observed in the shade of the Monguba specie. This study points out that isolated tree has its thermal benefits as well as clusters of palm trees, of the Guariroba specie, but the benefits provided by the cluster of Sibipiruna specie are much greater, more effectively reducing the negative effects of heat islands. It is concluded that the morphological characteristics among plant specimens generate different shading areas, distinctly influencing the microclimate.

Keywords: afforestation, thermal comfort, cycleway, tropical savana climate (Goiânia).

1. INTRODUÇÃO

Para promover maior qualidade de vida, bem-estar psicológico e saúde física, é necessário um restabelecimento de relações saudáveis entre a sociedade e o meio natural através da arborização urbana. Os benefícios da vegetação para melhoria do conforto térmico em cidades tropicais (clima quente) na escala do desenho urbano são: atenuação da radiação solar direta; mitigação da temperatura do ar; aumento da umidade do ar e do solo; controle da velocidade e direção dos ventos; aumento da biodiversidade da fauna e flora, estabilização do solo e manutenção dos ciclos de precipitação (SANTAMOURIS, 2001; ABREU-HARBICH LABAKI, MATA, 2015).

O trabalho de termorregulação do conforto térmico por exemplares vegetais ocorre devido ao controle da velocidade do vento pela estrutura da copa e caule, à atenuação da radiação pela copa da árvore e ao processo de evapotranspiração. (SANTAMOURIS, 2001; ABREU, 2008; SILVA, 2010). Este ocorre quando o vapor de água excedente é expelido pelos estômatos das folhas das plantas, que se abrem e fecham permitindo a troca de gases com o ambiente e termorregulando as temperaturas. Diversos estudos apontam os benefícios da arborização viária em relação à redução das ilhas de calor urbana e da melhoria do conforto térmico proporcionado por exemplares vegetais nas calçadas (DACANAL; LABAKI; SILVA, 2010; KETTERER; MATZARAKIS, 2014; RAHMAN *et al.* 2020).

Em Campinas, SP, Abreu (2008) comparou a atenuação solar de espécies arbóreas e obteve como resultados: Jambolão - *Syzygium cumini* L. com 89,1%, seguido pela Mangueira - *Mangifera indica* L. com 88,6% de atenuação, o agrupamento de Chuva de Ouro - *Senna siamea* L. com 70,9% e o Jacarandá - *Jacaranda mimosaefolia* D. Don. com 63,8%. O Ipê-Amarelo - *Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC) Stand., espécie decídua, indica uma boa atenuação da radiação na época com folhas, 81,7%; e na época sem folhas apresenta a menor, 46,1%. Posteriormente, Abreu-Harbich *et al.* (2015) analisou agrupamentos arbóreos lineares onde os resultados mostram que o sombreamento das árvores pode influenciar significativamente o conforto térmico humano expresso em PET (Temperatura Fisiologicamente Equivalente). A espécie Sibipiruna - *Cenostigma pluviosum* (DC) E. Gagmon & G.P, Lewis apresentou a melhor possibilidade em termos de PET, pois reduziu entre 12ºC e 16°C para agrupamento linear e entre 12,5ºC e 14,5 °C, para árvore individual.

Em TelAviv – Israel, Shashua-Bar *et al.* (2010) pesquisaram três espécies encontradas nas vias para determinar o efeito térmico de cada no microclima urbano. Como resultado obteve que o coeficiente de resfriamento do *Ficus retusa* L. foi de 0,6; da *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze foi de 0,5; e da palmeira *Phoenyx dactylifera* L. sob sombra foi de 0,4 quando formam dossel de 50%. No entanto, em uma rua residencial, o coeficiente de resfriamento foi considerado ineficaz. Porém, em locais gramados e com Tamareiras (*P. dactylifera*) o coeficiente de resfriamento subiu para 0,7.

Em Hong Kong, Kong; Lau e Yuan (2017) selecionaram árvores em três grupos: copa densa, copa esparsa e palmeiras e analisaram a influência de cada grupo sobre a temperatura do ar, a temperatura radiante média e a velocidade do vento. Observaram que não houve resfriamento significativo das calçadas onde estão plantadas palmeiras jovens. O efeito de resfriamento de 0,5°C foi observado em apenas alguns pontos. As palmeiras apresentaram baixo desempenho na redução de Temperatura média radiante (TMR), com valores de 0,2°C em espaços abertos e 0,1°C em regiões mais adensadas.

Em Campinas, Ribeiro (2018) avaliou a influência no conforto térmico através da atenuação solar de quatro espécies de palmeiras durante as estações do ano. Como resultado obteve que a atenuação solar da Washingtônia - *Washingtonia robusta* H. Wendl na primavera foi de 71,5%; no verão 75,4%; no outono 81,3%; e no inverno 80,3%. A Tamareira - *Phoenix dactylifera* L. na primavera foi de 53,8%; no verão 58,1%; no outono 67,0%; e no inverno 60,9%. A Rabo de Raposa - *Wodyetia bifurcata* Irvine na primavera atenuou 50,3%; no verão 55%; no outono 69,6% e no inverno 63,1%. As palmeiras da espécie Livistona - *Livistona saribus* (Loureiro) Merril ex. A. Chevalier tiveram o melhor desempenho com a diferença das temperaturas do ar na sombra e no sol de 1,2ºC - 2,4ºC. Este estudo sugere que as espécies de palmeiras que possuem o índice de área foliar elevado e maior atenuação da radiação solar têm maior capacidade de redução da temperatura, com resultados satisfatórios nas sensações de conforto térmico no microclima urbano, evidenciando-se sua viabilidade na construção da paisagem urbana. Em um outro estudo, observou-se que plantio de palmeiras da espécie Guariroba em grupos lineares ou difusos promove sombreamento e atenuação da temperatura em calçadas estreitas ou em ciclovias com áreas permeáveis limitadas, pois proporcionam atenuação solar e menos conflitos com o calçamento, pois possuem sistema radicular fasciculado, ou seja, conjunto de raízes finas com origem em um único ponto (AMABIS e MARTHO, 2015). Salienta-se que apesar da capacidade de proporcionar sombreamento na ciclovia, mas as árvores têm maior capacidade de redução do estresse térmico no ambiente externo.

Dessa forma, a arborização urbana torna-se essencial nas cidades e é uma solução prática e barata para a melhoria térmica do ambiente urbano, principalmente quando se utiliza espécies nativas da região (BUENO-BARTHOLOMEI, 2003; ABREU-HARBICH; LABAKI; MATZARAKIS, 2015). Mas na gestão da arborização viária - ação de manter árvores, individuais ou em pequenos grupos, em calçadas, praças, canteiros ou jardins (LOBODA; DE ANGELIS, 2005) - nem sempre é prioridade numa cidade complexa. Por exemplo, quando houve a implantação de uma ciclovia em Goiânia em 2012 e foram cortadas 34 árvores e mantidas as palmeiras Guariroba (*S. oleracea)*, um grupamento de três Sibipirunas (*C. pluviosum)* e uma Monguba (*P. aquatica)* (GOIÂNIA, 2012). Como compensação ambiental, foram plantadas mudas das espécies *Handroanthus sp.* (Ipês)*, Lophanthera lactescens* Ducke (Lanterneiro)*, Licanea tomentosa* (benth.) fritsch (Oitizeiro)*, Lagerstroemia indica* (L.) Pers. (Resedá), *Sapindus saponaria* L. (Saboneteira) com altura aproximada de 2,00 m cada. Em 2020, essas árvores estavam com altura de 6 a 10 metros e não estavam proporcionando a sombra necessária para promoção do conforto térmico (RORIZ et al. 2019). Isso acarreta a redução do plantio e reposição dos exemplares vegetais e ou a retirada da vegetação para dar lugar às vias de carros, ao invés de mantê-las e incentivar o transporte de baixo impacto ambiental, como as bicicletas.

Para incentivar o uso da bicicleta como meio de transporte na cidade de Goiânia, principalmente numa época que o transporte coletivo é uma questão preocupante em termos sanitários devido à pandemia COVID-19, é importante que as ciclovias promovam conforto térmico adequado para o desenvolvimento da atividade. Como os diferentes exemplares vegetais trabalham de maneiras distintas no ambiente, é importante avaliar o conforto térmico proporcionados pela sombra de exemplares vegetais (palmeiras e árvores) aos pedestres e ciclistas em cidades de clima tropical de savana como em Goiânia.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é avaliar quantitativamente o conforto térmico por diferentes exemplares para sombreamento das ciclovias da cidade de Goiânia. O objetivo secundário foi desenvolver diretrizes de plantio de exemplares arbóreos em ciclovias de cidades de clima tropical de savana.

3. MÉTODO

Este estudo experimental *in situ* foi desenvolvido nas seguintes etapas, baseado no projeto RUROS (*Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces)* (NIKOLOPOULOU, 2004):

1) Descrição do clima local;
2) Seleção das áreas de estudo;
3) Procedimento de coleta de dados de campo;
1) Análise do Conforto Térmico proporcionado por diferentes exemplares vegetais;

3.1. Descrição do clima local

Goiânia (16º 40 S; 49º 15 W; 749m) tem um clima classificado como Tropical de Savana, Aw, segundo Köppen-Geiger (KOTTEK *et al.* 2006), com duas estações bem definidas uma quente e seca (maio a outubro) e outra quente e úmida (novembro a janeiro) com índice pluviométrico de 1.570mm por ano. Os índices de umidade relativa do ar variam de 52% em agosto a 82% no período chuvoso. A média da temperatura do ar no período da tarde é de 29ºC e nos meses mais quentes (agosto, setembro e outubro) a temperatura excede esse valor em 25% das horas. O vento predominante é o Sudoeste, com velocidade predominante de 2m/s (CHAVES; ABREU-HARBICH, 2016).

3.2. Seleção das áreas de estudo

Os critérios de seleção da ciclovia foram: ser uma via com mais de 1 km na mesma direção, preferencialmente leste-oeste; estar em zona de média-baixa densidade de construção; uniformidade do pavimento da pista e das calçadas; possuir agrupamento distintos de exemplares vegetais de espécies com potencial de melhorias; lugar de grande circulação de pedestres e ciclistas; e segurança do pesquisador (presença do pesquisador).

Atendendo esses critérios, a ciclovia selecionada localiza-se na Av. Universitária, setor Leste Universitário. Possui 5,23 km de extensão, com intenso fluxo de automóveis, pedestres e ciclistas, devido a presença do Hospital Araújo Jorge, faculdades, comércios e residências existentes ao longo da avenida. A via possui 11 m de largura, com duas faixas em ambos os sentidos e mais uma faixa exclusiva para ônibus. Possui um canteiro central variando entre 4,8m a 9,8m de largura e calçadas com média de 6,0m de largura;

uma arborização composta por árvores de espécies variadas e palmeiras de uma única espécie. As calçadas possuem menos vegetação que o canteiro central, que é usado para descanso dos transeuntes, local de alimentação rápida e onde foi implantada a ciclovia.

Para coleta e análise dos dados foram definidos dois trechos específicos da ciclovia da Av. Universitária, mostrado na Figura 01, onde foram escolhidos dois trechos: Trecho 01-árvores e Trecho 02-palmeiras.

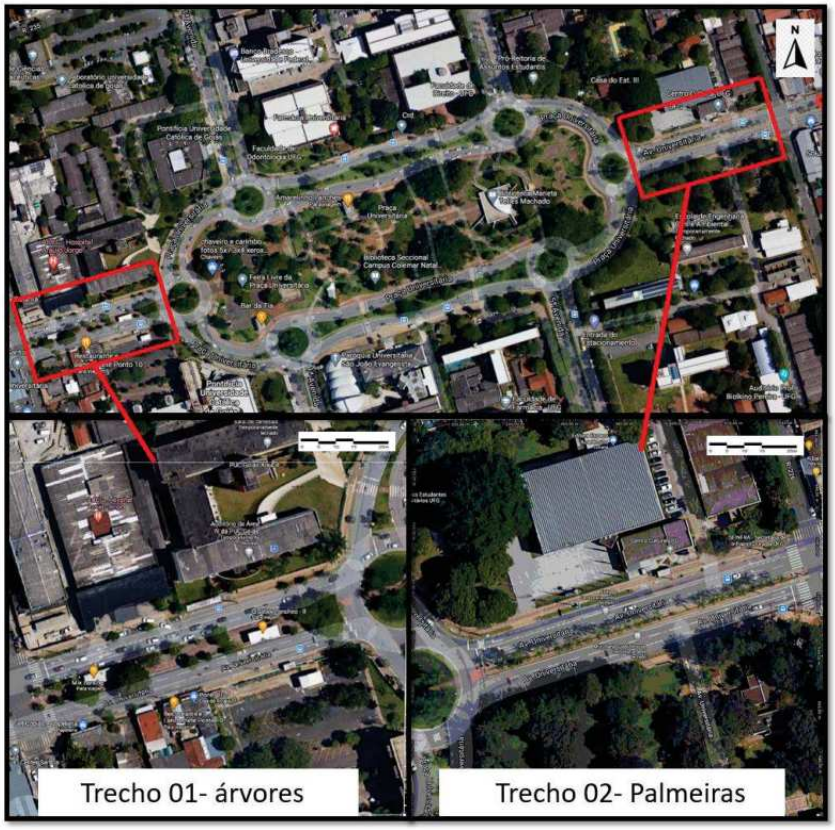


Figura 01 – Trechos selecionados na ciclovia da Av. Universitária, Goiânia.

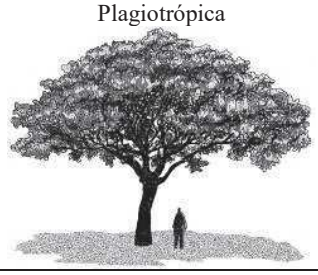
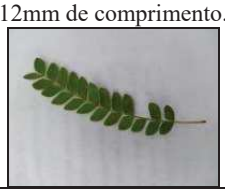
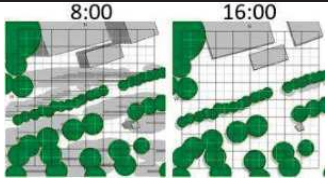
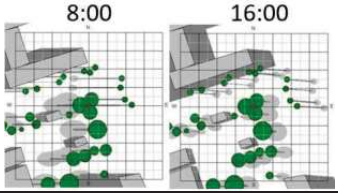
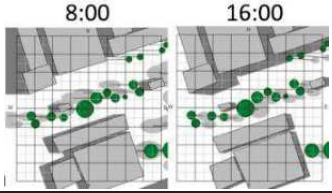
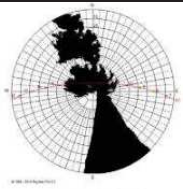
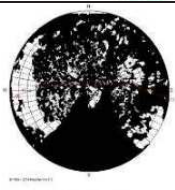
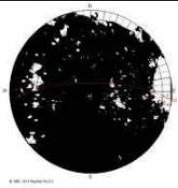
O Trecho 01-árvores possui a extensão de 120m, com vegetação formada por 07 árvores adultas e 16 árvores jovens, localizado em frente a PUC-GO área IV e Hospital Araújo Jorge. Neste trecho com árvores adultas há espécies variadas, como uma árvore da espécie Monguba (*P. aquatica)* isolada e um agrupamento de três árvores da espécie Sibipiruna *(C. pluviosum*) com altura média de 16m. Plantadas nas bordas distais do canteiro, em abertura permeável de 1,20 m que apresenta trechos com grama e outros sem grama.

O Trecho 02-palmeiras tem extensão de 122 m, com vegetação majoritariamente composta por 22 palmeiras e localizado em frente à Escola de Engenharia Civil e Ambiental da UFG. A espécie encontrada nesse trecho é, majoritariamente, a Guariroba (*S. oleracea)* em estágio adulto, com altura média de 16m, plantadas de forma linear no centro do canteiro em abertura permeável de 1,20 m com grama Esmeralda (*Zoysia japonica* Steud).

3.3. Procedimento de Coleta de Dados

Para escolher os pontos de medição nos trechos selecionados considerou-se locais onde os agrupamentos de exemplares vegetais fizessem uma cobertura vegetal sem interferência do entorno imediato (vegetação e edifícios). A Figura 02 mostra o Trecho 01-árvores com a marca dos pontos onde houve as coletas, sob a sombra de um exemplar da espécie Monguba (P1), de um agrupamento da espécie Sibipiruna (P3) e sob sol (P2), entre os outros dois pontos. A Figura 03 mostra o Trecho 02-palmeiras, com detalhe para a marca nos dois pontos onde foi feita a coleta dos dados, sob a sombra do agrupamento da espécie Guarirobas (P4) e ao sol (P5). A Tabela 01 mostra as características dos exemplares avaliados, bem como a localização em relação ao seu entorno imediato: tipo de agrupamento, tipo de pavimento, sombreamento da vegetação e edifícios.

Tabela 01 - Características dos exemplares avaliados, localização e relação com o entorno imediato.

Características		**Exemplares Vegetais**		
		Guariroba – *S. oleracea* (mart.) Becc. Planta perenifólia, heliófita, seletiva xerófita.	Sibipiruna – *C. pluviosum* (DC) E. Gagmon & G.P, Lewis Planta semidecídua, heliófita, indiferente às condições de solo	Monguba – *P. aquatica* Aubl. Planta perenifólia, heliófita, higrófita
CAULE	altura	16,2m	16,7m	17,8m
	Altura do fuste	15m	8m	8m
	diâmetro	0,55m a 0,71m	1,23m a 1,87m	2,33m
	Casca	Lisa, com estrias 	Áspera, com rugosidades superficiais 	Lisa, com estrias 
	Cor	Marrom acizentado	Marrom acizentado	Marrom
COPA	Tipo	Estipe simples, ereto 	Plagiotrópica 	Ortotrópico simpodial 
	Diâmetro	4m	12m	16m
	Densidade	rala	Semi-decídua	Densa
	Forma	Crispada e deflexa	Umbelifirme	Oval
FOLHAS	Tipo	Pinadas, com folíolo de 30-90cm de comprimento; bainha estreita e caduca 	Compostas, bipinadas, com 17-19 pares de pinas; folíolos em número de 13-27 por pina, de 10-12mm de comprimento. 	Compostas digitadas com 3-9 folíolos curto-peciolados e glabros. 
	Largura	80cm.	1cm	6cm
	Comprimento	3m	8cm	14cm
	Cor	Verde escuro	Verde escuro.	Verde escuro.
SITIO	Agrupamento	Linear homogêneo (22 exemplares)	Aleatório homogêneo (3 exemplares)	Linear heterogêneo (1 exemplar e árvores jovens de outras espécies)
	Tipo de piso	grama	concreto	concreto
	Análise de sombra (março de 2021)			
	Fator de Visão do Céu (SVF)	 SVF: 0,716 *	 SVF: 0,247	 SVF: 0,101

*SVF (Sky View Factor) é o Fator de Visão do Céu. Esse índice é utilizado para verificar a obstrução da abóboda celeste por edifícios e exemplares vegetais

(Fotos e medidas *in loco* adaptado de LORENZI, 1998; Oliveira, 2012).



Figura 02 – Foto aérea do Trecho 01-árvores da ciclovia da Av. Universitária, Goiânia. (*Google Earth*, 2020, adaptada pela autora).



Figura 03 – Foto aérea do Trecho 02-palmeiras da ciclovia da Av. Universitária, Goiânia. (*Google Earth*, 2020, adaptada pela autora).

Os equipamentos utilizados foram: o Medidor de estresse térmico (TGD-400 *Instrutherm*) e um Multifuncional (MS6300 *Environment Multimeter*) que coletaram dados de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento (Figura 04). O medidor de estresse térmico registrou as seguintes temperaturas: de bulbo úmido (Tbu); de bulbo seco (Tbs); de globo (Tg) que indica a temperatura radiante do ambiente e outros. Para evitar interferências na coleta dos dados sob sol, a esfera do medidor de estresse térmico originalmente de cor preta, foi substituída por outra de cor cinza-médio, onde absorção da radiação de onda curta é semelhante à de pessoas vestidas, em torno de 0,70 (THORSSON *et al*., 2007).



Figura 04 - À esquerda, medidor de estresse térmico com o globo cinza e à direita, multifuncional. (Autora, 2021).

Os dados foram coletados nos dias 1º, 2, 5 e 6 de março de 2021, às 8:00, 10:00, 12:00 e 16:00hs, na sombra de cada exemplar vegetal e ao sol, nos pontos P1, P2, P3, P4 e P5 de ambos os Trechos. Os equipamentos ficaram cerca de 1,5m do piso acabado (altura do peito) de forma que o corpo do pesquisador não formasse barreira para o vento e nem sombra.

3.3. Análise do conforto térmico proporcionado

Utilizou a estatística descritiva para avaliar a variação de temperatura do ar e umidade relativa em cada ponto medido. A temperatura Média Radiante foi calculada a partir da temperatura do ar e temperatura de Globo cinza, segundo a seguinte equação definida pela ISO 7726 (ASHRAE, 1998):

$$TMR = \{(Tg+273)^4 + [(1{,}1x10^8 \times Va^{0,6})/(\varepsilon g \times D^{0,4})] \times (Tg - Ta)\} 1/4 - 273 \quad (1)$$

Onde:

TMR = Temperatura média radiante, em ºC;

Tg = temperatura de globo, em ºC;
Va = velocidade do vento, em m/s;
εg = emissividade do globo (adimensional);
D = diâmetro do globo, em metros; e
Ta = temperatura do ar, em ºC.

Para quantificar o conforto térmico em usuários de ambientes externos foram selecionados os seguintes: PET (Temperatura Fisiológica Equivalente) (VDI, 1998) e UTCI (Índice de Clima Térmico Universal) (BLAŽEJCZYK, 2010). Utilizou-se o *software RayMan Pro* para calcular o conforto térmico por esses dois índices (MATZARAKIS, RUTZ E MAYER, 2007). Salienta-se que esses índices possuem resultados em temperaturas equivalentes, facilitando a comparação destes resultados com o Projeto RUROS. As variáveis climáticas de entrada foram: temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e Temperatura Média Radiante; e as variáveis pessoais foram 0,6 Clo, baseado nos estudos de Abreu-Harbich *et al*. (2018) e sentado, 80W, e rodando de bicicleta, 200W, de acordo com Lamberts *et al*. (2014).

Para comparar as sensações térmicas com a temperatura PET, Matzarakis e Mayer (1996) desenvolveram uma classificação para Europa (clima continental úmido), Lin e Matzarakis (2008) para Tawian (clima tropical), Monteiro e Allucci (2009) para São Paulo (clima tropical de altitude). Blažejczyk *et al* (2010) também classificou as sensações térmicas para a Europa. Para comparar os resultados de índices UTCI com o PET, utilizou-se a Tabela 02 onde as sensações térmicas são divididas em classes de sensações. Neste estudo, utilizou-se a classificação para Taiwan pois o clima de Goiânia durante o verão é mais parecido com o de Taiwan do que de São Paulo.

Tabela 02 - Sensações Térmicas do PET e UTCI para Europa, Taiwan e São Paulo.

Sensação Térmica	UTCI (ºC) (Blažejczyk, 2010)	PET para Europa (ºC PET) (Matzarakis e Mayer 1996)	PET para Taiwan (ºC PET) (Lin e Matzarakis 2008)	PET para São Paulo (Monteiro e Allucci 2009)
Muito Frio	-13 a -27	<4	<14	
Frio	-13 a 0	4 a 8	14 a 18	< 4
Fresco	0 a 9	8 a13	18 a 22	4 a 12
Leve Frescor	9 a 18	13 a 18	22 a 26	12 a 18
Comfortavel	18 a 26	18 a 23	26 a 30	18 a 26
Leve Calor	26 a 32	23 a 29	30 a 34	26 a31
Calor	32 a 38	29 a 35	34 a 38	31 a 43
Quente	38 a 46	35 a 41	38 a 42	>43
Muito Quente	>46	>41	>42	

4. RESULTADOS

As Figuras 05, 06 e 07 apresentam, respectivamente, os resultados para a temperatura do ar, Temperatura Média Radiante e umidade relativa do ar. Em termos de temperatura do ar, observou-se que a diferença entre o sol e à sombra no trecho 1-arvores para a espécie Sibipiruna foi de 6,8ºC, e para a espécie Monguba, 2,1ºC. Em termos de Temperatura Média Radiante, a diferença entre o sol e a sombra para o agrupamento da espécie Sibipiruna foi de 8,4ºC, e para a espécie Monguba, 2,6º C.

Também, observou-se que o exemplar da espécie Monguba aumentou a umidade relativa do ar em 7,4%. No Trecho 02-palmeiras, a espécie guariroba reduziu a temperatura do ar até 3ºC e temperatura média radiante em 2,4ºC. Salienta-se que o exemplar da espécie Monguba, praticamente isolada, trouxe benefícios semelhantes ao de um agrupamento da espécie Guarirobas, devido a área de sombreamento projetado pela copa da árvore ao pedestre e ao ciclista ser maior e mais densa do que a copa da palmeira. Em termos de umidificação, todos os exemplares analisados são capazes de umidificar o ambiente construído, no entanto, quando se tem um piso em grama, esses benefícios podem ser intensificados, conforme mostrado nos estudos de Shashua-Bar *et al* (2010) e Ribeiro (2018).

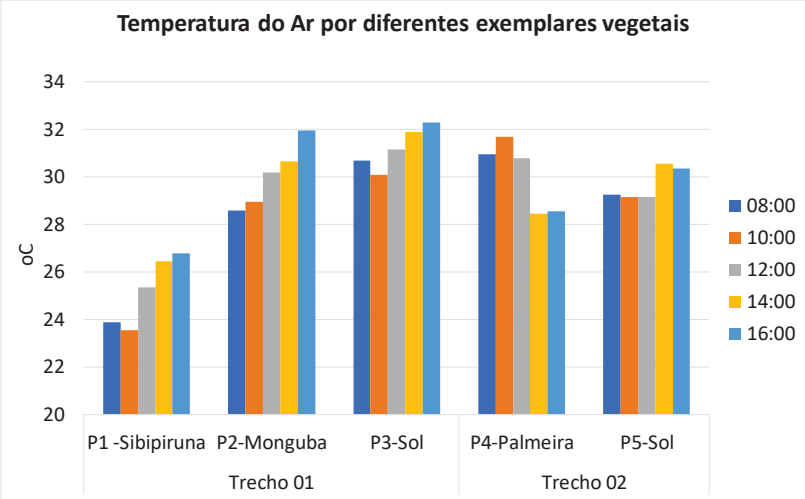


Figura 05 – Temperatura do ar para diferentes exemplares. (Autora, 2021).

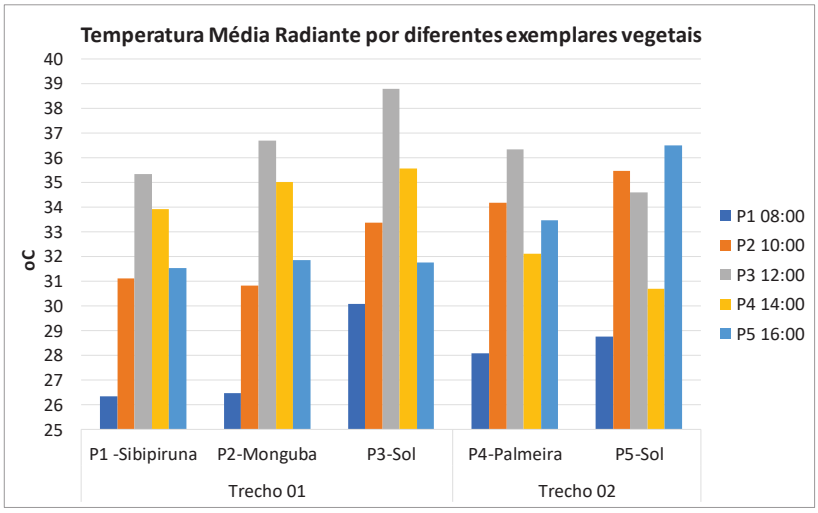


Figura 06 – Temperatura Média Radiante para diferentes exemplares. (Autora, 2021).

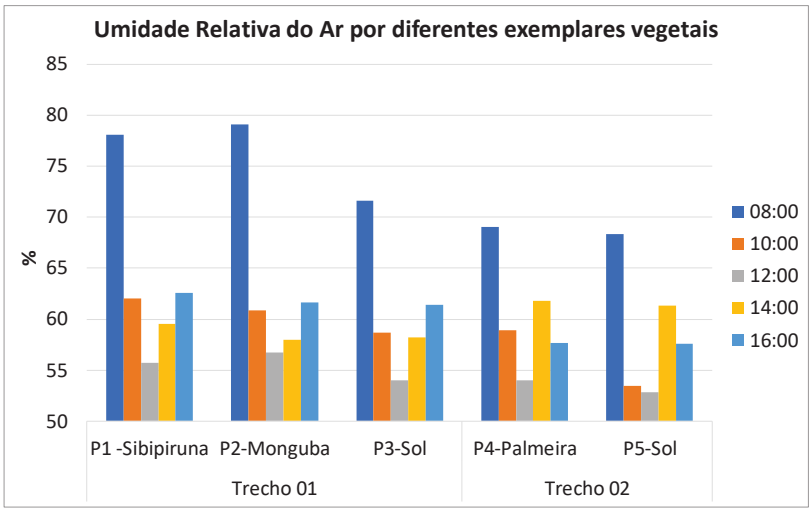


Figura 07 – Resultados de Umidade Relativa por diferentes exemplares vegetais. (Autora, 2021).

A Figura 08 mostra os resultados de PET e UTCI à sombra dos exemplares vegetais e ao Sol. Notou-se que no Trecho 01-árvores, o agrupamento da espécie Sibipiruna trouxe maior conforto térmico em todas as horas analisadas. Considerando a temperatura confortável entre 26ºC a 30ºC, observou-se que a sombra do agrupamento da espécie Sibipiruna manteve temperaturas abaixo de 30ºC em PET e UTCI, na situação sentado e rodando de bicicleta.

A diferença das temperaturas PET à sombra e ao sol de cada trecho analisado para pessoas sentadas foi cerca de 10ºC para o agrupamento da espécie Sibipiruna e 3,8ºC para a espécie Monguba (P2). Em termos de UTCI, a sensação térmica no Trecho 01-árvores é de 10,2ºC para quem está sentado à sombra do

agrupamento da espécie Sibipiruna e de 8,4ºC para quem está rodando de bicicleta a sombra deste agrupamento. No Trecho 02-palmeiras, o agrupamento da espécie Guariroba reduziu a temperatura PET para quem estava sentado em 3,8ºC. Também, observou-se que o ponto ao sol (P2) do Trecho 01-árvores é mais confortável do que o ponto ao sol (P5) do Trecho 02-palmeiras. Esses dados demonstram a capacidade de termorregulação dos agrupamentos arbóreos em relação aos agrupamentos da palmeira Guariroba.

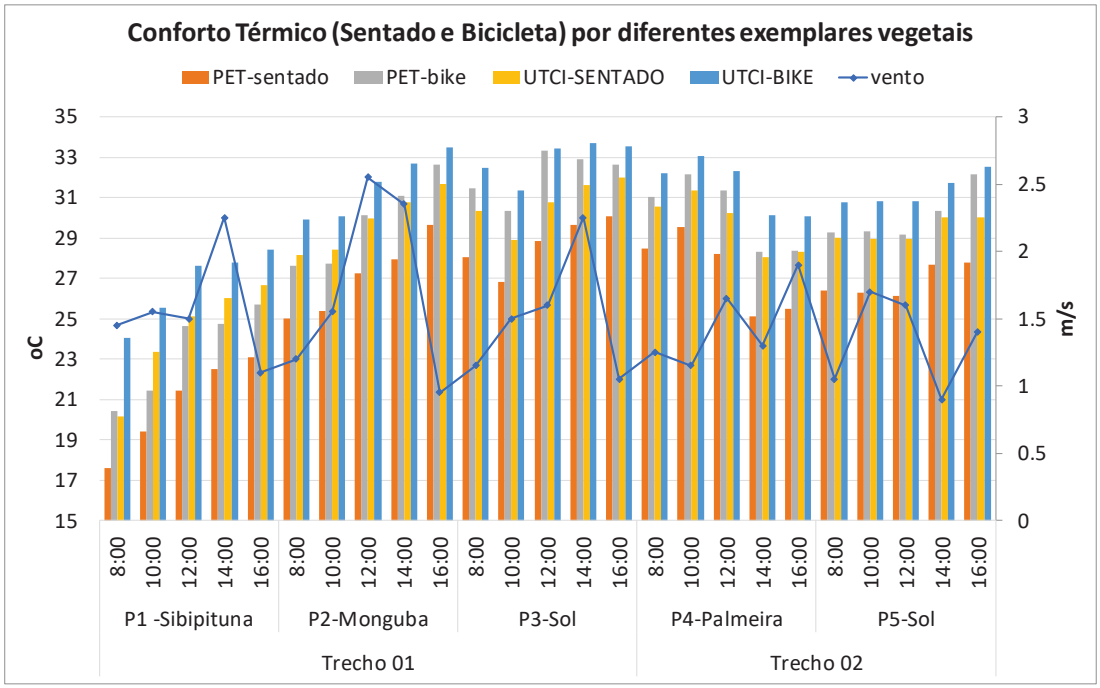


Figura 08 – Resultados do conforto térmico proporcionado por diferentes exemplares vegetais. (Autora, 2021).

5. CONCLUSÕES

Este estudo objetivou avaliar quantitativamente o conforto térmico proporcionado por exemplares arbóreos em dois trechos de uma ciclovia em Goiânia. Como objetivo secundário, foi possível desenvolver diretrizes de implantação de exemplares arbóreos para cidades de clima tropical de Savana como Goiânia.

O agrupamento da espécie Sibipiruna, Trecho 01-árvores, apresentou melhores sensações de conforto térmico ao longo do dia, entre 26ºC e 30º C, para as diferentes atividades analisadas (sentado e rodando de bicicleta). Os resultados apontaram que sombra proporcionada pelo agrupamento da espécie Sibipiruna conseguiu reduzir mais de 11ºC de temperaturas PET para os ciclistas. Salienta-se que os benefícios proporcionados por essa espécie também foram observados por Abreu-Harbich, Labaki e Matzarakis (2015). Observou-se também que o agrupamento da espécie Guarirobas trouxe benefícios térmicos semelhantes à de uma árvore da espécie Monguba, com uma redução de temperatura PET de cerca de 3,8ºC, confirmando os resultados de Shashua-bar (2010) e Ribeiro (2018). Conclui-se que as características morfológicas entre os exemplares vegetais analisados geram área de sombreamento diferentes, influenciando distintamente nas sensações de conforto térmico. As principais limitações deste estudo é coleta de dados de campo em uma estação chuvosa. Sugere-se a realização de mais estudos de campo para melhorar a qualidade da amostra de dados de campo e também, estudar áreas com outras espécies de exemplares vegetais.

No planejamento da arborização viária é importante promover o plantio e replantio de exemplares arbóreos considerando as características do local, como o espaço disponível para plantio (largura da calçada e da abertura permeável), as estruturas físicas adjacentes (postes, rebaixamentos, tipo de fiação aérea), as características das espécies a serem plantadas (tamanho, porte, dimensões do caule e copa quando adultos, tipo da copa e do sistema radicular e velocidade de crescimento) e normas legais vigentes, como Lei de Acessibilidade (BRASIL, 2010), por exemplo, que limita plantio em calçadas com largura inferior a 2,0m.

Como diretrizes de implantação de arborização em ciclovias e calçadas para Goiânia, sugere-se: 1. Escolher as espécies de exemplares vegetais que proporcionem maior conforto térmico aos pedestres e ciclistas, valorizando sempre a área de sombra projetada; 2. Disponibilizar áreas para o plantio de exemplares vegetais; 3. Optar, sempre, por plantio de árvores, se houver espaço disponível. Caso não haja espaço para estas, pode-se, perfeitamente, plantar palmeiras, nas suas mais variadas espécies, pois também

haverá melhoria do microclima. A tabela 03 sugere espécies de exemplares vegetais para serem plantadas em uma área menor que 60 cm e maior que 60 cm.

Tabela 03: relação das espécies indicadas para plantio conforme características físicas do local. Fonte: AMMA, 2020, adaptado pela autora.

	ABERTURA PERMEÁVEL	
	Menor que 60 cm	**Maior que 60 cm**
ESPÉCIES	Pau-formiga, Lanterneiro, Palmeiras (exceto Palmeira-imperial, Bacuri, Babaçu e Rabo-de-peixe) Pata-de-vaca, Escumilha-africana, Alfeneiro, Nó-de-porco, Caroba, Aroeira-pimenteira, Escova-de-garrafa, Cedrinho.	Pau-Brasil, Oitizeiro, Monguba, Sibipiruna, Pau-ferro, Chichá, Saboneteiro, Palmeira-imperial, Magnólia-amarela.

Estes dados auxiliam para arquitetos, urbanistas e planejadores urbanos o processo de tomada de decisões para a melhoria do conforto térmico urbano, mitigação dos efeitos negativos das ilhas de calor frente às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU. Loyde. V. **Avaliação da escala de influência da vegetação no microclima por diferentes espécies arbóreas.** Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 163p. Dissertação (Mestrado).

ABREU-HARBICH, Loyde V.; LABAKI, Lucila C.; MATZARAKIS, Andreas. *Effect of tree planting design and tree species on human thermal confort in the tropics. In:* ***Landscap and urban Planning***, v.138, p.99-109, jun 2015.

ABREU-HARBICH, Loyde. V.; CHAVES, V. L.A. ; BRANDSTETTER, M. C. G.O. . *Evaluation of strategies that improve the thermal comfort and energy saving of a classroom of an institutional building in a tropical climate.* ***Building and environmen***[JCR], v. 135, p. 257-268, 2018.

AMABIS, José M.; MARTHO, Gilberto R. **Biologia 2 – Biologia dos organismos.** 4ªed. São Paulo: Moderna, 2015.

ASHRAE, Ashrae handbook – *Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.* Atlanta, 1998.

BŁAŻEJCZYK, Krzysztof; BROEDE, Peter; FIALA, Dusan; HAVENITH, George; HOLMÉR, Ingvar; JENDRITZKY, Gerd; KAMPMANN, Bernhardt; KUNERT, Anna. ***Principles of the new Universal Thermal Climate Index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale****. Miscellanea Geographica*. 2010; 14: 91-102.

BRASIL, Lei Federal nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Brasília, 2010.

BRASIL, Lei federal nº 12.587, de 03 de janeiro de 2021. Brasília, 2021.

BUENO-BARTHOLOMEI, Carolina. L. l**nfluência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído.** Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 189 p. Tese (Doutorado).

CHAVES, Victor L.; ABREU-HARBICH, L V.; Identificação do Ano Climático De Referência Para Goiânia – Goiás. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, set 2016.

DACANAL, Cristiane; LABAKI, Lucila C.; SILVA, Talita M. L Vamos passear na Floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 115-132, abr./jun. 2010

GOIÂNIA, Parecer Técnico 80/2012 – GEARB/AMMA, Goiânia, 2012.

KETTERER, Christine; MATZARAKIS, Andreas. *Human-biometeorological assessment of the urban heat island in a city with complex topography – The case of Stuttgart, Germany,* ***Urban Climate***, Volume 10, Part 3, 2014.

KOTTEK, Markus; GRIESER, Jürgen; BECK, Christoph; RUDOLF, Bruno; RUBEL, Franz. *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated».* ***Meteorologische Zeitschrift.*** **15** (3): 259–263. LOBODA, Carlos R.; DE ANGELIS, B. L.D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. I-IN: **Ambiência Guarapuava**, PR v.1 n.1 p. 125-139 jan./jun. 2005 ISSN 1808 – 0251. LORENZI, Henri. **Árvores brasileiras manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Vol. I. 2ª edição. Nova Odessa, SP: Editora Plantarum, 1998.

MATZARAKIS, Andreas; RUTZ, Frank; MAYER, *Helmut. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. In:* ***Internation Journal of Biometeorology.*** V.51. pp. 323-334. 2007.

NIKOLOPOULOU, Marialena (ed.). Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach. Grécia: CRES, 2004.

LAMBERTS, Roberto SORGATO, Márcio, J.; DEIVIS, Ana, P.M.; MARINOSKI, Luís. Análise do procedimento de simulação da NBR15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. In: **Ambiente Construído.** Vol.14 n.4. Porto Alegre, Out/Dez. 2014.

OLIVEIRA, G. N. **Revitalização da Arborização Urbana no Centro de Governador Valadares–MG**. Lavras-MG, 2012.

RAHMAN, Mohammad. A., *et al Tree cooling effects and human thermal comfort under contrasting species and sites, Agricultural and Forest Meteorology,* Volume 287, 2020.

RIBEIRO, Neusa L. S. **Atenuação solar e sombreamento produzido por espécies de palmeiras em área urbana.** Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. (Dissertação). 107p. Campinas, 2018.

RORIZ, JÚLIA W. DE SÁ; HORA, KARLA EMMANUELA RIBEIRO; HARBICH, LOYDE V. DE ABREU; PECCINNI, ALEJANDRO A. Arborização urbana de Goiânia: importância, diagnóstico e prognóstico. In: **II Seminário Nacional de Planejamento Paisagem Urbana e Sustentabilidade**, 2019, Goiânia. Anais do II Seminário Nacional de Planejamento Paisagem Urbana e Sustentabilidade, 2019. p. 77.

SANTAMOURIS, Mattheos. ***Energy and climate in the urban built****. London: James & James.* 2001.

SHASHUA-BAR, Limor; POTCHTER, Oded; BITAN, Arieh; BOLTANSKY, Dalia; YAAKOV, Yaron. *Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv. In:* ***International Journal of Climatology.*** *Int. J. Climatol*. 30: 44–57. 2010.

SILVA, Lucia S. Impactos da Perda de Vegetação nas Áreas Periurbanas Metropolitanas no Contexto da Dispersão Urbana. In: V ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS. 2010, Florianópolis. **Anais Eletrônicos do V Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade.** Florianópolis, 2010. p. 0-0.

THORSSON, S.; LINDBERG, F.; ELIASSON, I.; HOLMER, B. *Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting.* ***International Journal of Climatology***. vol.27. p.1983-1993, 2007.

VDI, 1998: VDI 3787, *Part I: Environmental meteorology, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning at regional level. Part I: Climate. Beuth, Berlin*. pp. 39.