

# Efeito de espécies arbóreas no índice de calor do espaço circundante do município de Gurupi, Tocantins

*Effect of tree species on the heat index of the surrounding space in the municipality of Gurupi, Tocantins*

Lorena Camargos de **SOUZA**<sup>1,2</sup>; Claudia Alicia Marín **PÉREZ**<sup>1</sup>; André Ferreira dos **SANTOS**<sup>1</sup>; Rodolfo Medeiros **TRINETTO**<sup>1</sup> & Yusuky de Sousa **GOMES**<sup>1</sup>

## RESUMO

A arborização urbana, ferramenta para mitigar o desconforto térmico, é cada vez mais considerada no desenho bioclimático. No Brasil, são poucos os estudos que trabalham com o Índice de Calor (IC) como ferramenta para diagnosticar o desconforto, embora haja várias pesquisas que têm tal índice como algo a ser avaliado. O presente estudo teve por objetivo avaliar o IC com base na caracterização e na análise da variabilidade de imediações das seguintes espécies arbóreas: *Pachira aquática* Aubl., *Mangifera indica* L., *Caesalpinia pluviosa* DC., *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & LMPerry e *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch, existentes no setor central da cidade de Gurupi, Tocantins, durante todo o ano 2016. Foi possível observar as variações advindas dos raios de copa, bem como as variações sazonais e horárias. Os registros foram realizados a 0 m, 5 m, 10 m e 15 m do fuste da árvore, em horários próximos às 12 h e durante todo um ano, evidenciando as variações da variável por meio de tabelas e gráficos. Os resultados apontaram efeitos positivos das árvores de todas as espécies nas características estudadas, com atenuação média de 2°C, com destaque para a espécie mangueira e as árvores de copa grande.

**Palavras-chave:** arborização urbana; conforto térmico; temperatura; umidade relativa.

## ABSTRACT

Urban afforestation, a tool to mitigate thermal discomfort, is increasingly considered in bioclimatic design. In Brazil, there are few studies that work with the Heat Index (IC) as a tool to diagnose discomfort, although there are several studies that have this index as something to be evaluated. The present study aimed to evaluate the IC based on the characterization and analysis of the variability of the surroundings of the following tree species: *Pachira aquatica* Aubl., *Mangifera indica* L., *Caesalpinia pluviosa* DC., *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & L M Perry and *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch, existing in the central sector of the city of Gurupi, Tocantins, throughout 2016. It was possible to observe the variations arising from the crown rays, as well as seasonal and hourly variations. The records were made at 0 m, 5 m, 10 m and 15 m from the trunk of the tree, at times close to 12:00 h and throughout a year, showing the variations of the variable through tables and graphs. The results showed positive effects of trees of all species on the characteristics studied, with an average attenuation of 2°C and highlighting the mango species and the large crown trees.

**Keywords:** relative humidity; temperature; thermal comfort; urban forestry.

Recebido em: 11 maio 2022

Aceito em: 5 ago. 2022

<sup>1</sup> Universidade Federal do Tocantins (UFT), Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Campus de Gurupi, Rua Badejós, lote 7, chácaras 69 e 72, Zona Rural, Palmas, TO, Brasil.

<sup>2</sup> Autor para correspondência: lorena.camargos@uft.edu.br.

## INTRODUÇÃO

No redesenho das áreas urbanas para a melhoria no conforto térmico humano, vale destacar a arborização urbana como um enfoque promissor pelos serviços ambientais ofertados. Destes, o controle para a regulação da temperatura se reveste de grande importância e necessita de um melhor entendimento dos fundamentos sobre como as árvores ajudam na regulação térmica.

Diante da necessidade de soluções para diminuir os impactos microclimáticos produzidos pela ação antropogênica, que é uma das causas do crescente processo de urbanização no mundo, a arborização produz benefícios ligados aos parâmetros climáticos, acarretando variações térmicas favoráveis para o conforto térmico do homem – ação considerada um regulador climático (XANXERÊ, 2009).

O município de Gurupi, no estado do Tocantins, apresenta 91% de sua população habitando em zonas urbanas (IBGE, 2010). Nesse contexto, o atual planejamento urbano não logrou amortecer os impactos climáticos, que ocorrem nos espaços exteriores (as ruas das cidades), levando ao questionamento sobre a sustentabilidade atual dos municípios (COSTA, 2010).

Além disso, o Brasil apresenta um clima tropical e se situa em uma das áreas de máxima recepção de energia solar do planeta, conferindo-lhe aspectos particulares (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Um dos principais fenômenos da urbanização que manifesta a variação microclimática é o efeito da Ilha de Calor Urbana (ICU), que indica considerável maior concentração de calor nas áreas concêntricas do que nas áreas periféricas (OKE, 1988; EPA, 2009; CORDOVA, 2011). Tal fenômeno assume ainda maior importância nas cidades afetadas por climas caracterizados por grandes períodos de estiagem e altas temperaturas, como é o caso de Gurupi. Uma arborização adequada nas cidades se traduz pela melhoria na sensação de bem-estar nas pessoas (GOMES & SOARES, 2003; SHAMS *et al.*, 2009).

A ICU, no contexto de climas quentes, pode produzir efeitos adversos no ser humano. Tal condição pode ser estudada com a ajuda do Índice de Calor (IC). Este estima a temperatura sentida pelo indivíduo, no entorno definido por certa temperatura e umidade do ar, bem como por outros elementos, por conseguinte, ajuda a estimar o desconforto térmico sentido. O IC resulta de investigações sobre o clima e seus efeitos sobre o corpo humano, principalmente na biometeorologia, e tem por base as relações preestabelecidas que descrevem o intercâmbio de calor entre o corpo humano e o entorno (NOAA, 2017).

Diante do exposto, o presente estudo pretendeu conhecer a situação atual de desconforto humano no setor central do município de Gurupi, por meio do IC, além de estudar a contribuição das árvores urbanas na diminuição do desconforto do ser humano. Nessa perspectiva, buscou-se avaliar e comparar os cenários de florestas urbanas na localidade em questão, considerando cinco espécies de diferentes portes e que são muito significativas na região.

## MATERIAL E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Gurupi, a terceira maior cidade do estado do Tocantins, situa-se nas coordenadas 11° 43' S e 49° 04' O, com altitude média de 287 metros (SEPLAN, 2013) (figura 1). Possui clima quente e semiúmido, com período seco bem definido na classificação de Thornthwaite<sup>1</sup>:4C2wA'a'.



**Figura 1** – Localização da área urbana de Gurupi, Tocantins. Fonte: adaptado de Seplan (2013).

O mês de abril é considerado por alguns como um período úmido (MARCUIZZO & GOULARTE, 2013), mas registros da estação meteorológica automática de Gurupi, de 2016 (INMET, 2016), apontam baixas umidades e altas temperaturas típicas do período seco. Conseqüentemente, o período seco aqui considerado abrange os meses de abril a julho, e úmido de outubro a dezembro. A temperatura média anual é de 26°C, com uma precipitação média anual de 1.600 mm (PMAE, 2013).

O clima de Gurupi, igualmente ao de outras cidades, tem passado por mudanças, como consequência do crescimento populacional e do aumento da distribuição populacional ali identificados. A população estimada para Gurupi, em 2016, foi de 84.628 habitantes, sendo 76.744 pessoas (91%) vivendo na área urbana (IBGE, 2017).

#### SELEÇÃO DOS INDIVÍDUOS ARBÓREOS

Na presente pesquisa as espécies arbóreas foram selecionadas considerando a sua ocorrência nas regiões tropicais, nos biomas brasileiros e com base em sua utilização para arborização urbana do setor central de Gurupi.

Recentes estudos realizados pela Universidade Federal do Tocantins (UFT) sobre a biodiversidade na arborização urbana em Gurupi têm mostrado superior predomínio das seguintes espécies: *Pachira aquatica* Aubl. (monguba), *Mangifera indica* L. (mangueira), *Caesalpinia pluviosa* DC. (sibipiruna), *Syzygium malaccense* (L.) Merr. & LMPerry (jambo-vermelho) e *Licania tomentosa* (Benth.) Fritsch (oiti) (COSTA, 2010).

Para este estudo, escolheram-se as seguintes espécies: oiti, mangueira, monguba, sibipiruna e jambo. Elas não apresentam mudas de folhas durante todo o ano, ou seja, são perenes; suas características gerais encontram-se expressas na tabela 1.

Os dados da tabela 1 resultaram de um estudo bibliográfico que compreendeu as seguintes fontes: Parrotta (1993), Lorenzi (1998), Sothers *et al.* (2015), Duarte (2015) e BFG (2015). As mencionadas fontes serviram para conhecimento e melhor escolha dos indivíduos exemplares das espécies selecionadas.

**Tabela 1** – Principais características das espécies arbóreas consideradas pelo presente estudo.

Espécie	Nome comum	Características gerais	
<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Oiti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nativa do Brasil, mata atlântica</li> <li>• Altura total: 6-15 m</li> <li>• Copa: frondosa e arredondada</li> <li>• Diâmetro do tronco: 30-50 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folha: simples</li> <li>• Comprimento: 7-14 cm</li> <li>• Uso: ornamental e sombra</li> </ul>
<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC.	Sibipiruna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nativa do Brasil, mata atlântica</li> <li>• Altura total: 8-16 m</li> <li>• Copa: densa e arredondada</li> <li>• Diâmetro do tronco: 30-40 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folha: composta</li> <li>• Comprimento: 10-12 mm</li> <li>• Uso: ornamental</li> </ul>
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	Monguba	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nativa do Brasil, Amazonas</li> <li>• Altura total: 6-14 m</li> <li>• Copa: densa e arredondada</li> <li>• Diâmetro do tronco: 30-40 cm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folha: simples</li> <li>• Comprimento: 15-20 cm</li> <li>• Uso: sombra</li> </ul>
<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & L.M.Perry	Jambo-vermelho	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nativa da Ásia</li> <li>• Altura total: 7-12 m</li> <li>• Copa: densa</li> <li>• Folha: simples</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprimento: 15-20 cm</li> <li>• Uso: ornamental, comestível e sombra</li> </ul>
<i>Mangifera indica</i> L.	Mangueira	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nativa da Ásia</li> <li>• Altura: 25 m ou mais</li> <li>• Copa: densa e arredondada</li> <li>• Diâmetro tronco: 0.6 e 2.0 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Folha: simples</li> <li>• Comprimento: 28 cm</li> <li>• Uso: comestível e sombra</li> </ul>

Fontes: Parrotta (1993), Lorenzi (1998), BFG (2015), Sothers *et al.* (2015), Duarte (2015).

Foram escolhidos três indivíduos arbóreos por espécie, com dados morfológicos semelhantes e que cumprissem com uma série de condições de local, mencionadas no próximo item. Os dados morfológicos característicos têm evidência na tabela 2, e houve um total de 15 indivíduos arbóreos estudados, espalhados ao longo do setor central.

Os parâmetros considerados foram: diâmetro à altura do peito (calculada pelo CAP), altura total (AT) e raio da copa da árvore. Para esse último parâmetro, considerou-se o raio médio (RM), calculado conforme a equação a seguir:

$$RM = (R1 + R2) / 2.$$

**Tabela 2** – Principais características morfológicas dos indivíduos arbóreos considerados pelo presente estudo. Legenda: DAP – diâmetro à altura do peito; RM – raio médio; AT – altura total.

Número espécie	Nome científico	Nome comum	Número árvore	DAP (cm)	RM (m)	AT (m)
1	<i>Mangifera indica</i> L.	Mangueira	1	85,9	9,6	25,0
			2	88,8	8,5	24,5
			3	86,6	9,9	20,0
2	<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & LMPerry	Jambo-vermelho	4	20,7	2,2	6,0
			5	25,5	2,9	7,0
			6	17,5	2,8	7,0
			7	68,8	5,6	12,0
3	<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC.	Sibipiruna	8	68,4	6,8	7,5
			9	40,1	4,3	7,0
			10	61,1	4,6	8,7
4	<i>Pachira aquática</i> Aubl.	Monguba	11	37,9	3,4	8,0
			12	36,0	3,8	8,5
			13	43,9	3,7	5,0
5	<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Oiti	14	38,2	3,7	4,5
			15	47,7	2,9	5,0

Fonte: primária (2018).

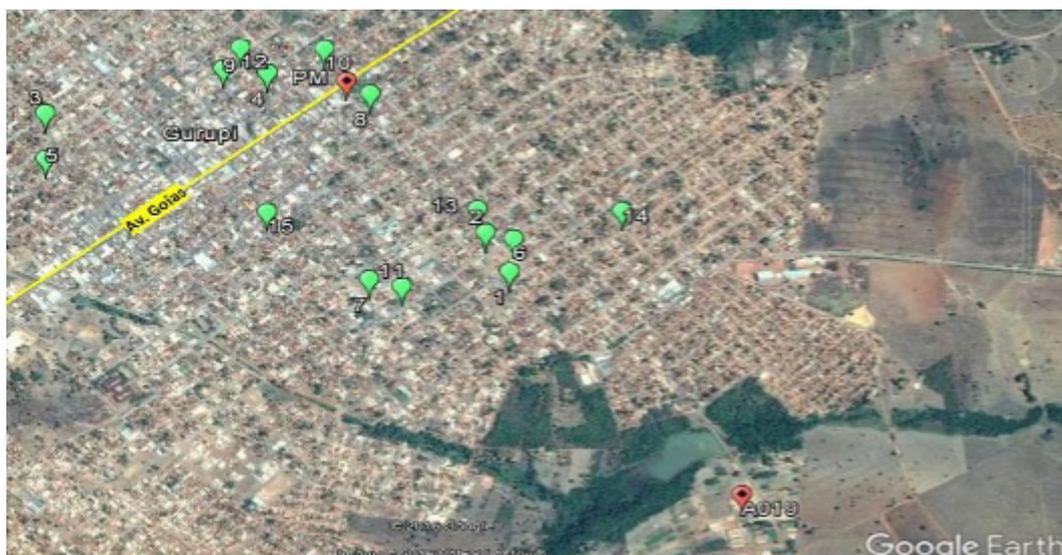
De acordo com o RM, as árvores foram classificadas pelo tamanho da copa em: pequena ( $RM < 3,0\text{ m}$ ), média ( $3,0\text{ m} \leq RM < 5,0\text{ m}$ ) e grande ( $RM \geq 5,0\text{ m}$ ).

### SELEÇÃO DOS LOCAIS DE MEDIÇÃO

Observou-se e levou-se em conta o local onde as espécies se encontravam. Para isso, selecionaram-se somente as árvores que estivessem nas seguintes condições:

- em avenidas ou ruas asfaltadas;
- sem interferência de sombreamento, afetadas por algum elemento físico construído ou por outro indivíduo arbóreo;
- no caso de haver presença de outras árvores próximas, as árvores tinham de estar a uma distância mínima de 25 metros, longe do indivíduo arbóreo em estudo.

Os indivíduos arbóreos elegidos, então, cumprem com tais condições, mais as condições de morfologia semelhantes, perfazendo um total de 15 indivíduos arbóreos espalhados ao longo do setor central da cidade de Gurupi. O espalhamento geográfico propicia uma distribuição das amostras em condições microclimáticas diferentes, ou seja, independentes entre elas. As localizações dos indivíduos estão representadas no mapa do município de Gurupi. Os números 1 a 15 correspondem ao número da árvore da tabela 2. Também se mostra a Prefeitura municipal da cidade (PM), onde se localiza a estação meteorológica da cidade (A019), e os números em verde dizem respeito aos números de árvore da tabela 2.



**Figura 2** – Localização das árvores selecionadas no estudo (1-15). Fontes: Google Earth e primária.

### COLETA DOS DADOS

A designação dos dias efetivos de coleta (tabela 3), segundo as considerações de condições microclimáticas semelhantes entre os dias e os meses, foi gerida com a ajuda das previsões feitas pela estação meteorológica Inmet “A019”, situada na cidade.

**Tabela 3** – Dias e hora de amostragem.

Período	Estação	Mês	Dias	Hora
Seco	Outono	Abril	6, 7, 8, 9	
	Inverno	Julho	14, 15, 16	10:00-11:00 12:00-13:00
Úmido	Primavera	Outubro	9, 10, 12	14:00-15:00
	Verão	Dezembro	28, 29, 30	

Fonte: primária (2016).

No mês de abril, consideraram-se quatro dias seguidos; no primeiro dia não foi possível concluir a coleta correspondente, por motivos de imprevistos no planejamento. O planejamento ocorreu no início de cada mês, e as coletas daquele mês ocorreram nas primeiras semanas do mês. Porém as coletas de dezembro foram alteradas para as duas últimas semanas do mês, por questões organizativas.

O horário das 12 h representa o período em que o sol atinge o zênite. É bem conhecido o aumento da temperatura do período da manhã até a tarde, apresentando os maiores valores depois das 12 h, ou seja, perto das 14 h (HERRMANN, 2008; LANGARO & SOUZA, 2012; FERREIRA & HERRMANN, 2016; MARTINI *et al.*, 2016). No entanto um estudo feito em São Paulo por Shinzato (2014) encontrou temperaturas máximas registradas às 16 h. Desse modo, foi possível alcançar três grupos horários, a saber: 10 h, 12 h e 14 h, perfazendo o estudo da relação em questão com o IC.

Os intervalos de coleta dos três grupos foram estabelecidos levando em conta o tempo de, aproximadamente, 1h, para que a equipe de trabalho realizasse o traslado entre os diferentes indivíduos arbóreos.

### MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS

Para a coleta dos parâmetros ambientais, considerou-se o seguinte:

- quatro pontos de amostragem, localizados radialmente, no sentido da rua ou da avenida, aos 0 m, 5 m, 10 m e 15 m, a partir do fuste da árvore, denominados: posição 0 m, posição 5 m, posição 10 m e posição 15 m;
- onde a posição 0 m sempre estivesse na sombra, ou seja, onde se tem a maior influência da árvore;
- a posição 15 m era aquela que sempre estivesse diretamente ao sol, ou seja, a posição que recebe a menor influência da árvore e representa a ausência da influência da árvore.

Os pontos de amostragem foram dispostos de modo a possibilitar a avaliação da influência dos indivíduos arbóreos sobre a variável de IC, com base na interpretação e na análise dos valores nos quatro pontos radiais considerados e a 1,50 m acima do chão.

Em relação ao alcance do raio de influência, Herrmann (2008) e Ferreira & Herrmann (2016) definem que “o sol nasce” é a distância de 15 m longe do fuste da árvore durante todas as estações do ano. Martini *et al.* (2016) apontam que, entre 10 m e 50 m da árvore, as temperaturas não apresentam considerável variação. Assim, no presente estudo, considerou-se a posição sol aos 15 m de distância do fuste da árvore, pelas razões apresentadas e por motivos logísticos, a fim de cumprir todas as medições em tempo reduzido.

Para a coleta de dados, utilizou-se uma estação meteorológica portátil, marca Skymaster, modelo SM-28, com calibração de fábrica (na data de 2/2016) e suportada por um tripé. As especificações de medição do equipamento encontram-se listadas na tabela 4.

**Tabela 4** – Especificações de medições do equipamento utilizado.

Precisão	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar	Velocidade do vento	Índice de calor
Erro de medição	±1,1°C	±3%	±3%	±3%
Intervalo da variável	0 – 50°C	0 – 99%	0,18 – 39,78 m/s	21 – 68,78°C
Tempo de resposta	1 minuto	1 minuto	2 segundos	1 minuto

Fonte: Manual Skymaster SM-28.

As variáveis Ta (temperatura do ar), Ura (umidade relativa do ar) e velocidade do vento foram monitoradas diretamente pelo aparelho de medida, ao passo que o IC teve sua medição realizada de modo indireto, graças à fórmula de NOAA (2017). O IC é conhecido como uma temperatura aparente ou percebida pelo homem, resultante de uma combinação da temperatura do ar, da umidade relativa e de outros parâmetros microclimáticos e biológicos relacionados ao homem (NOAA, 2017).

A National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA, 2017) publicou em seu sítio uma tabela que evidencia a relação do IC com a  $T_a$  e  $U_{ra}$ . Quanto maior for o IC, maior será a temperatura do clima, sendo essa relação um dos usos práticos do IC quanto ao bem-estar térmico nos entornos de trabalhos ou de atividades esportivas que fiquem em condições exteriores ou ao ar livre.

Em relação ao alcance do raio de influência, Ferreira & Herrmann (2016) definiram como sendo a distância "sol" a distância de 15 m longe do fuste da árvore. Desse modo, consideraram que era onde sempre se estivesse diretamente ao sol, ou seja, a posição que recebe a menor influência da árvore é representada pela ausência da sua influência. Martini *et al.* (2016) apontaram que, entre 10 m e 50 m da árvore, as temperaturas não apresentam considerável variação. Marín & Santos (2017) consideraram a distância de 20 m como "sol".

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

No total registraram-se 513 dados, com os quais foi elaborada uma base de dados no *software* Excel 2010, para sua posterior análise estatística, em que se empregou a análise de variância (Anova) e se processaram as leituras em correspondência com a hipótese em questão.

Foi também empregado o teste T, *a posteriori*, com 5% de significância (nível alfa). Como as repetições para cada tratamento foram diferentes, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com repetições diferentes.

Fizeram-se as análises com auxílio do programa Assistat versão 7.7 (COSTA, 2010).

Para a avaliação de confiabilidade na medição dos dados coletados, foi necessário um procedimento de aceitação geral para avaliar sua incerteza, a qual é usada como um atributo quantitativo que determina a qualidade de uma medição (INMETRO, 2008). Julga-se como incerteza de medição o parâmetro associado a um resultado de medição que caracteriza a dispersão de valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao valor medido. A definição de "incerteza" é o parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando (INMETRO, 2008).

Utilizaram-se os dois métodos de avaliação das incertezas, do Tipo A e do Tipo B; as do Tipo A correspondem ao número de observações do IC e as do Tipo B são baseadas em conhecimentos prévios da estação meteorológica portátil, marca Skymaster.

Somente foi usada a incerteza padrão expandida, com um nível de confiança de 95%, seja para as amostras ou para as médias. No caso das amostras, foram apenas levadas em conta as incertezas do aparelho de medida, ou seja, as incertezas do Tipo B. No caso das médias, incluíram-se as incertezas por causa das distribuições das frequências das amostras e dos correspondentes grupos analisados, isto é, as incertezas do Tipo A.

O coeficiente de extensão empregado para as incertezas do Tipo B, para o nível de confiança de 95%, considerando uma distribuição retangular ( $C_{B;R;95\%}$ ), foi 1,65 (PÉREZ, 2012). A distribuição retangular foi escolhida porque todos os valores no intervalo de exatidão fornecido pelo fabricante são considerados igualmente prováveis. Conseqüentemente, a incerteza estendida do Tipo B, ao valor de 95% de confiança, se dá conforme a equação 1 (GALLAS, 1998).

$$I_{B;95\%} = C_{B;R;95\%} \sqrt{\left(\frac{E_{A;E}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{E_{A;R}}{\sqrt{3}}\right)^2} = 1,06 \sim 1,1 \quad (1)$$

Em que:

•  $E_{A;E}$  e  $E_{A;R}$  = incertezas devidas à exatidão e à resolução, respectivamente, do aparelho de medida.

No caso das incertezas do Tipo A, o coeficiente de extensão empregado dependerá dos graus de liberdade e da distribuição do conjunto de amostras. Se a distribuição não é normal, emprega-se a

distribuição T de Student. Quando a distribuição for normal, emprega-se tal distribuição para o cálculo do coeficiente de expansão. Assim, a incerteza padronizada estendida e combinada juntamente com o valor de 95% de confiança estão evidenciadas na equação 2 (GALLAS, 1998).

$$I_{C;95\%} = \sqrt{\left(C_{A;i;95\%} \frac{E_D}{\sqrt{N}}\right)^2 + (I_{B;95\%})^2} \quad (2)$$

Em que:

- $E_D$  = incerteza devida à distribuição de frequências das amostras;
- $C_{A;i;95\%}$  = coeficiente de expansão para a incerteza do Tipo A segundo a distribuição i ao 95% de confiança;
- N = número de amostras.

Obs.: O primeiro termo corresponde à incerteza padronizada estendida do Tipo A.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### ANÁLISE GERAL DOS DADOS

Os valores mínimo e máximo registrados foram de  $21,2 \pm 1,1^\circ\text{C}$  e  $42,1 \pm 1,1^\circ\text{C}$ , respectivamente, desvio padrão de  $2,7^\circ\text{C}$  e média geral de  $34 \pm 1,1^\circ\text{C}$ . Em relação às incertezas, encontraram-se aproximadamente os mesmos valores, que correspondem a cálculos diferentes. Para as amostras, usou-se somente a incerteza do Tipo B, enquanto para a média empregou-se a incerteza combinada. A amostragem não apresentou uma distribuição de frequências normal e tampouco de forma aproximada (SHAPIRO-WILK,  $V=0.98710$ ,  $V\text{-crit}=-$ ,  $\alpha=5\%$ ). Por conseguinte, utilizou-se a distribuição T de Student para o cálculo do componente Tipo A da incerteza combinada estendida.

O valor médio do conjunto de dados corresponde a um nível de “cuidado extremo” (NOAA, 2017).

### VARIAÇÃO SAZONAL

A análise de variância (Anova) apontou a existência de diferenças significativas entre as estações, ou seja,  $F(3, 509) = 28,29$ ,  $p < 0,01$ . Além disso, o teste T de Student, *a posteriori*, indicou que as estações verão, primavera, inverno e outono diferem significativamente entre elas em  $p < 0,05$ , mas que inverno e outono não diferem entre si, como evidenciado na tabela 5.

**Tabela 5** – Média dos valores para sua comparação por estação, com incertezas padronizadas combinadas.

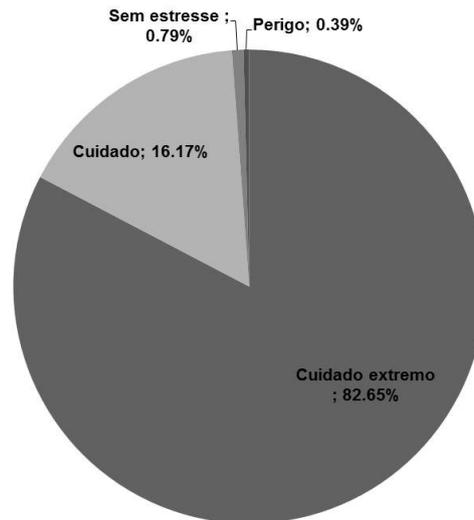
Estação	Média (°C)*
Outono	$35,5 \pm 1,2$ a
Inverno	$35,2 \pm 1,2$ a
Primavera	$32,7 \pm 1,3$ c
Verão	$33,5 \pm 1,2$ b
<b>Ano 2016</b>	<b><math>34 \pm 1,1</math></b>

\* Obs.: as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste T *a posteriori* ( $p < 0,05$ ; dms (MAX) =  $0,7^\circ\text{C}$ ). Fonte: primária (2018).

Empregando-se as incertezas padronizadas combinadas das médias, foi possível observar que as estações que correspondem ao período seco (outono e inverno) se diferenciam das estações

que correspondem ao período úmido (primavera e verão) e que as temperaturas do ar apontadas no primeiro período (seco) são superiores às do segundo período (úmido). Tal fato se dá tendo em vista que o período seco é caracterizado pelas altas temperaturas do ar. Por outro lado, a média anual calculada corresponde à média anual reportada pela Seplan (2013), que pode oscilar entre 30°C e 36°C.

Segundo a classificação do conforto térmico da NOAA, para os dados obtidos no presente estudo, correspondentes a todo o ano 2016, foi possível perceber a existência de estresse térmico (82,7% no nível "cuidado extremo") e que este, em alguns casos, pode chegar a níveis extremos (16,2 % no nível "cuidado"), conforme expresso na figura 3.



**Figura 3** – Porcentagem de estresse térmico segundo a classificação da NOAA. Fonte: primária (2018).

### VARIAÇÃO HORÁRIA

A análise de variância (Anova) apontou que todos os horários são diferentes, isto é,  $F(2, 510) = 89,69$ ,  $p < 0,01$ . Além disso, o teste T de Student, *a posteriori*, em  $p < 0,05$ , e a análise das incertezas padronizadas combinadas também revelaram que todos os horários diferem entre si, conforme evidenciado na tabela 6, confirmando o aumento do Índice de Calor (IC) no período das 10 h às 14 h.

**Tabela 6** – Médias horárias nos grupos das 10 h, 12 h e 14 h para o ano 2016, indicando a incerteza padronizada combinada de cada média e o resultado do teste T de Student, *a posteriori*.

Hora	Média (°C)	Comparação*
10	32,6±1,2	C
12	34,5±1,2	B
14	36,0 ±1,2	A

\* Obs.: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si segundo o teste T *a posteriori* ( $P < 0,05$ ; dms (MAX) = 0,5°C). Fonte: primária (2018).

### VARIAÇÃO DEVIDA ÀS ESPÉCIES E AOS RAIOS DAS COPAS

Foram analisadas as variações no IC em relação às características particulares de cada espécie dentro do raio de influência. O interesse se deu em função das possíveis diferenças entre as espécies e da identificação da espécie ou das espécies que apresentaram menor valor de IC no raio de influência, principalmente embaixo da copa da árvore.

**Tabela 7** – Médias do IC em sombra e sol, por espécie, no período seco e as diferenças com as respectivas incertezas. Legenda: Dif. abs. – diferença absoluta; Dif. rel. – diferença relativa.

Nome científico	Nome comum	Média sombra (°C)	Média sol (°C)	Dif. abs. (°C)	Dif. rel (%)
<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & LMPerry	Mangueira	32±2	35±2	3±3	7±6
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	Jambo	34±2	36±2	2±4	6±6
<i>Mangífera indica</i> L.	Monguba	33±2	35±2	2±3	6±5
<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	Oiti	33,9±1,5	36±2	2±3	6±5
<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC.	Sibipiruna	33±2	35±2	2±4	5±6

Fonte: primária (2018).

Biondi & Althaus (2005) estudaram três espécies: *Handroanthus chrysotrichus* (ipê-amarelo-miúdo), *Lagerstroemia indica* (extremosa) e *Libidibia ferrea* var. *leiostachya* (pau-ferro) e encontraram também que não diferem os valores em sol.

Ferreira & Herrmann (2016) reportaram um estudo da influência microclimática e de conforto térmico das seguintes espécies do cerrado goiano: *Lophantera lactescens* Ducke (lanterneiro ou chuva-de-ouro), *Caesalpinia pluviosa* var. *peltophoroides* (Benth.) G. P. Lewis (sibipiruna), *Sapindus saponaria* L. (saboneteira) e *Stryphnodendron adstringens* Mart. (Coville) (barbatimão). Os autores afirmaram que as espécies não apresentaram erros de medidas.

Ao observar os valores reportados na tabela 7, reconstruindo os valores de IC, aplicando o *heat index calculator* da NOAA e fazendo a devida análise, infere-se, pelo teste T, que os valores em sombra e sol não diferem entre eles ao nível alfa ( $p < 0,05$ ).

De qualquer maneira, considerando os valores médios e as incertezas padrão das diferenças absolutas sol-sombra na tabela 7 para definir a probabilidade de que a diferença seja superior a um valor determinado, pode-se afirmar o seguinte: a espécie mangueira possui diferenças sol-sombra superiores a 0,5°C ( $p=0,92$ ) e a 2°C ( $p=0,67$ ), as espécies monguba e sibipiruna possuem diferenças sol-sombra superiores a 0,5°C ( $p=0,75$ ) e as espécies jambo e oiti possuem diferenças sol-sombra superiores a 0,5°C ( $p=0,69$ ).

Em relação ao agrupamento por tamanho da copa ou raio da copa em pequeno, médio e grande, a análise de variância (Anova) gerou diferenças significativas entre os três tamanhos, ou seja,  $F(2, 510) = 6,58$ ,  $p < 0,01$ . Um teste T de Student, *a posteriori*, apontou que o grupo de árvores de tamanho de copa "grande" difere dos outros dois em  $p < 0,05$ ; entre os grupos de árvores de copas "pequena" e "mediana" não há diferenças expressivas. Por outro lado, na análise das incertezas padronizadas totais, não há diferenças significativas em nenhum dos três grupos, conforme consta da tabela 8.

**Tabela 8** – Valores médios de diferentes raios de copa para o ano 2016.

Tamanho da copa	Média (°C)	Comparação*
Pequeno	35,0±1,2	A
Mediano	34,6±1,2	A
Grande	33,8±1,2	B

\* Obs.: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si segundo o teste T *a posteriori* no nível alfa ( $p < 0,05$ , dms (MAX) = 0,7°C). Fonte: primária (2018).

Não pôde ser inferido que, quanto maior a copa da árvore, menor o IC embaixo da copa. Os erros são reportados com a incerteza padrão total estendida para um nível de confiança de 95%.

Hernandes *et al.* (2002) destacam que as copas das árvores evitam a penetração da maior parte da radiação solar do dia. Tal quantitativo de radiação solar implica menor aquecimento do solo e, conseqüentemente, menor emissão de radiação de ondas longas e menor aquecimento do ar no espaço entre o solo e as copas das árvores. Lundgren *et al.* (2015) verificaram a existência de diferença na temperatura abaixo das copas entre três espécies (*Ficus benjamina*, *Acacia farnesiana*, *Acacia farnesiana*) e entre o tamanho das copas delas.

#### VARIAÇÃO NA DISTÂNCIA

Quanto ao agrupamento por distância, a análise de variância (Anova) gerou diferenças significativas entre as distâncias analisadas, ou seja,  $F(4, 508) = 22,16$ ,  $p < 0,01$ . Um teste T, *a posteriori* (tabela 9), apontou que as distâncias 0 m e 5 m não diferem entre si, tampouco as distâncias entre 5 m e 10 m. As demais comparações apresentaram diferenças significativas em  $p < 0,05$ . A análise das incertezas padronizadas totais evidenciou que as distâncias não variam muito entre si, mas é possível observar a tendência de crescimento ao se afastar da árvore e o efeito que a arborização de ruas exerce no microclima do espaço imediato.

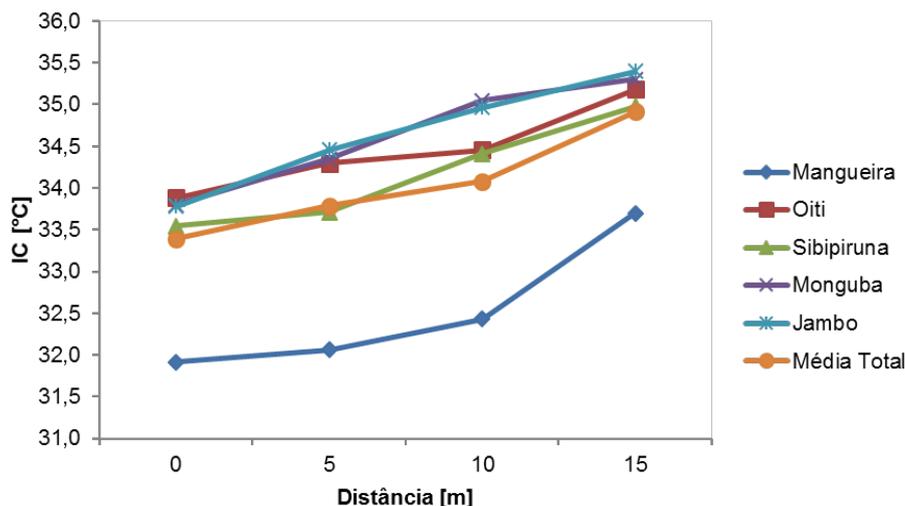
Ainda foi possível notar a influência que a cobertura arbórea exerce no microclima apontado na tabela 9. Sobre a questão, Jauregui (1991) constatou que a temperatura no Parque Chapultepec, localizado na Cidade do México, foi 2 a 3°C menor do que em seus arredores. Kurbán *et al.* (2002), na cidade de San Juan, Argentina, demonstraram que o efeito da arborização resultou em uma diminuição de 2,1°C na temperatura média. Tais estudos foram desenvolvidos em áreas verdes de grande extensão (parques e bosques, por exemplo). Não sendo apresentados os erros de medição, à simples vista é possível comparar esses resultados com os encontrados na presente pesquisa, graças aos valores semelhantes (tabela 9).

**Tabela 9** – Valores médios a diferentes distâncias.

Distância	Média (°C)	Comparação*
0 m	33,3±1,2	C
5 m	33,9±1,2	Bc
10 m	34,5±1,2	B
15 m	35,4±1,2	A

\* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si segundo o teste T *a posteriori* no nível alfa ( $p < 0,05$ ; dms (MAX) = 1,2°C). Fonte: primária (2018).

Na figura 4, são vistos os valores do IC diferenciados por espécie. Assim, foi possível notar a espécie mangueira com os valores mínimos, diferentemente das outras quatro espécies analisadas. Assim, mostrou-se evidente a relação direta (ou inversa da atenuação) da distância com a temperatura do ar.



**Figura 4** – Variação térmica em função da distância da árvore. Fonte: primária (2018).

## CONCLUSÃO

No presente estudo, com base na influência nas imediações de diferentes espécies arbóreas no conforto térmico, mediante a avaliação do Índice de Calor (IC), foi difícil encontrar uma espécie de destaque, em virtude das incertezas obtidas nos dados. A espécie e o raio de copa que poderiam aparecer como destaques são: a mangueira e o raio de copa grande, por apresentar as maiores atenuações, da ordem dos 2°C, entre as posições “sombra” e “sol”. Além disso, poderia ser demonstrada a existência de um escalonamento gradativo e inversamente proporcional das atenuações, ao se afastar do fuste da árvore.

Encontrou-se, para o ano 2016, uma situação de desconforto humano expresso pela média geral do IC de 34,4±1,0°C, correspondente a “cuidado extremo” (82,7% dos casos), e ainda se encontrou, em alguns casos (16,2%), a existência de estresse térmico no nível “cuidado” (critérios NOAA).

Ficou evidenciado que árvores urbanas contribuíram com atenuações sol-sombra superiores a 0,5°C, com probabilidades superiores a 0,70. Destacou-se a espécie mangueira (copa grande), que apresentou as maiores atenuações (2°C).

## REFERÊNCIAS

Ávila, M. F., Peralta, C., Tobalina, D., Bruno, K., Freire, R. & Kure, A. Clasificación climática según la metodología de Thornthwaite. Universidad Agraria del Ecuador; 2016. [Acesso em: 2 set. 2016]. Disponível em: <https://www.academia.edu/23641279>.

BFG – The Brazil Flora Group. Growing knowledge: an overview of seed plant diversity in Brazil. Rodriguésia. 2015; 66(4): 1085-1113.

Biondi, D & Althaus, M. Árvores urbanas de Curitiba – cultivo e manejo. Curitiba: FUPEF; 2005. 117 p.

Córdova, S., K. Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Terra Nueva Etapa. 2011; XXVII(42): 95-122.

Costa, C. S. Áreas verdes: um elemento chave para a sustentabilidade urbana. São Paulo: Arquitectos; 2010. v. 11, 126 p.

Dimoudi, A. & Nikolopoulou, M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. Energy and Buildings. 2003; 35(1): 69-76.

- Duarte, M. C. *Pachira*. In: Lista de espécies da flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro; 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB23585>.
- Durigan, G., Ratter, J. A., Bridgewater, S., de Siqueira, M. F. & Franco, G. A. D. C. Padrões fitogeográficos do cerrado paulista sob uma perspectiva regional. *Hoehnea*. 2003; 30(1): 39-51.
- EPA – Environmental Protection Agency. Urban heat island basics, reducing urban heat islands. Compendium of Strategies. Washington: Environmental Protection Agency; 2009. 23 p.
- Ferreira, R. de C. & Herrmann, C. R. A. Influência de espécies arbóreas no microclima e conforto térmico de seu entorno imediato sob condições climáticas do cerrado goiano. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*. 2016; 11(1): 14-33.
- Gallas, R. M. Incerteza de medição. Guia para a expressão da incerteza de medição. 2. ed. Porto Alegre: ABNT/Inmetro; 1998. 10 p.
- Gomes, M. A. S. & Soares, B.R. A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre os espaços verdes em cidades médias brasileiras. *Estudos Geográficos*. 2003; 1: 19-29.
- Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. GUM – Guia para a expressão de incerteza de medição. Avaliação de dados de medição. Duque de Caxias: Inmetro/CICMA/Sepin; 2008. 141 p.
- Hernandes, J. L., Pedro J., M. J. & Bardin, L. Diferenças estacionais entre variáveis microclimáticas para ambientes de interior de mata, vinhedo e posto meteorológico em Jundiá (SP). *Bragantia*. 2002; 61(2): 169-180.
- Herrmann, A. C. Qualidade do sombreamento de espécies arbóreas e sua influência no microclima do entorno imediato em ambientes urbanos. [Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás; 2008.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2016. [Acesso em: 23 jan. 2017]. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas\\_pdf/Brasil\\_tab\\_1\\_15.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/Brasil_tab_1_15.pdf).
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Informações estatísticas. 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=170950&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>.
- Inmet – Instituto Nacional de Meteorologia. Clima e tempo. [Acesso em: 27 ago. 2016]. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>.
- Jauregui, E. Effects of vegetation on urban and buildings climate: influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. *Energy and Buildings*. 1991; 15: 457-463.
- Kurbán, A., Papparelli, A., Cúnsulo, M., Montilla, E. & Herrera, C. Aporte de la forestación al control del clima urbano en zona árida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 2002; 6(1): 43-48.
- Langaro, A. P & Souza, E. Influência da radiação solar e umidade do ar na concentração do ozônio. *Revista de Ciências Exatas e da Terra*. 2012; 1(1): 32-40.
- Lorenzi, H. Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum; 1998. 352 p.
- Lundgren, W. J. C., Silva, L. F., Amorim, T. L. & Silva, K. P. S. Análise da temperatura do solo abaixo da copa de três espécies de árvores na cidade de Serra Talhada – PE. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*. 2015; 9(4): 1-21.
- Marcuzzo, F. F. N. & Goularte, E. R. P. Caracterização do ano hidrológico e mapeamento espacial das chuvas nos períodos úmido e seco do estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2103; 6(1): 91-99.
- Marín, C. A. P & Santos, A. F. Temperatura em sombra e sol de três espécies de árvores no centro da cidade de Gurupi, Tocantins. *Enciclopédia Biosfera-Gurupi*; 2017. 67 p.

- Martini, A., Biondi, D., Batista, A. C. & da Silva Filho, D. F. Microclima em diferentes tipologias de floresta urbana. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*. 2016; 10(4): 12-22.
- Mendonça, F. & Danni-Oliveira, I. M. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos; 2007. 206 p.
- NOAA – National Oceanic & Atmospheric Administration. National centers for environmental information. [Acesso em: 22 ago. 2017]. Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201604>.
- Nogueira, J. S. & Lima, E. A. *Coletânea física ambiental II*. São Paulo: Baraúnas; 2013. 210 p.
- Oke, T. R. Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*. 1988; 11(1/3): 103-113/1988.
- Oliveira, A. S. de, Nogueira, M. C. D. J. A., Sanches, L. & Nogueira, J. D. S. Variáveis meteorológicas e cobertura vegetal de espécies arbóreas em praças urbanas em Cuiabá, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 2013; 28(4): 389-400.
- Parrotta, J. A. *Mangifera indica* L. Mango. SO-ITF-SM-63. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station; 1993. p. 6.
- Pérez, M. M. Estimación de incertidumbres. *Guía GUM. Revista Española de Metrología*. 2012; 1: 114-130.
- PMAE – Plano Municipal de Água e Esgoto. Gurupi: Prefeitura de Gurupi; 2013. [Acesso em: 1.º set. 2016]. Disponível em: [http://www.gurupi.to.gov.br/resources/arquivos-publicados/planos-municipais/agua\\_esgoto\\_2013.pdf](http://www.gurupi.to.gov.br/resources/arquivos-publicados/planos-municipais/agua_esgoto_2013.pdf).
- Rolim, G. de S. & Aparecido, L. E. O. Camargo, Köppen and Thornthwaite climate classification systems in defining climatical regions of the state of São Paulo. *Brazil International Journal of Climatology*. 2015; 36: 636-643.
- Santos, A. F. dos, José, A. C. & Sousa, P. A. de Fitossociologia e diversidade de espécies arbóreas das praças centrais do município de Gurupi – TO. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*. 2013; 8(4): 33-43.
- Seplan – Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. Gurupi/Seplan/Governo do Estado do Tocantins; 2013. Disponível em: [http://www.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/Municipios\\_Perfil\\_2013/Gurupi.pdf](http://www.seplan.to.gov.br/Arquivos/download/Municipios_Perfil_2013/Gurupi.pdf).
- Shams, J. C. A., Giacomeli, D. C. & Sucomine, N. M. Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos. *Revista Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*. 2009; 4(4): 1-16.
- Shinzato, P. Impacto da vegetação nos microclimas urbanos. [Tese de Doutorado]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2014.
- Silva, A. D. P., Santos, A. F. & Oliveira, L. M. Índices de área verde e cobertura vegetal das praças públicas da cidade de Gurupi, TO. *Floresta*. 2016; 46(3): 353-361.
- Silva, F. A. S. Assistat: Versão 7.7. DEAG-CTRN-UFCG – cópia atualizada em 1.º de agosto de 2016. [Acesso em: 20 ago. 2016]. Disponível em: <http://www.assistat.com>.
- Sothers, C., Alves, F. M. & Prance, G. T. Chrysobalanaceae. In: *Lista de espécies da flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro; 2015.
- Velasco, G. D. N. Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica: definição de três áreas na cidade de São Paulo – SP; aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de grau-hora de calor. [Tese de Doutorado]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo; 2007.
- Xanxerê. Secretaria de Políticas Ambientais. *Manual da arborização urbana de Xanxerê*. Xanxerê: Secretaria Municipal; 2009. 20 p.