



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

WILTON DIAS DA SILVA

ARBORIZAÇÃO DE VIAS URBANAS: POTENCIAL DE SOMBREAMENTO DAS  
ESPÉCIES

BAURU

2016

WILTON DIAS DA SILVA

**ARBORIZAÇÃO DE VIAS URBANAS: POTENCIAL DE SOMBREAMENTO DAS  
ESPÉCIES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", câmpus de Bauru, como requisito final para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. João Roberto Gomes de Faria

BAURU

2016

SILVA, Wilton Dias da.

Arborização de vias urbanas: Potencial de sombreamento das espécies / Wilton Dias da Silva, 2016

76 f.

Orientador: João Roberto Gomes de Faria

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2016

1.Arborização urbana. 2.ENVI-Met. 3.Ambiente Construído. 4.Planejamento urbano.

I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE WILTON DIAS DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO.**

Aos 19 dias do mês de fevereiro do ano de 2016, às 14:00 horas, no(a) Auditório da Seção Técnica de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. JOAO ROBERTO GOMES DE FARIA do(a) Departamento de Arq Urb e Paisagismo / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Profa. Dra. MARIA SOLANGE G DE C FONTES do(a) Departamento de Arq Urb e Paisagismo / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Professora Adjunto LEA CRISTINA LUCAS DE SOUZA do(a) Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SAO CARLOS, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de WILTON DIAS DA SILVA, intitulada **ARBORIZAÇÃO DE VIAS URBANAS: DIRETRIZES DE ESCOLHA DE ESPÉCIES PARA SOMBREAMENTO**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
Prof. Dr. JOAO ROBERTO GOMES DE FARIA

  
Profa. Dra. MARIA SOLANGE G DE C FONTES

  
Professora Adjunto LEA CRISTINA LUCAS DE SOUZA

Dedico esta pesquisa aos estudos relacionados à busca da qualidade do ambiente construído, em especial, àqueles que enxergam a integração do meio ambiente como um caminho sem volta!

*“E a terra produziu erva, erva dando semente conforme a sua espécie, e a árvore frutífera, cuja semente está nela conforme a sua espécie. E viu Deus que era bom”.*

(Gênesis 1:12)

## RESUMO

SILVA, Wilton Dias da. **Arborização de vias urbanas: potencial de sombreamento das espécies.** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (FAAC) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Campus Bauru, 2016.

A arborização de vias urbanas pode se constituir num elemento bastante eficaz na amenização de altas temperaturas na camada intraurbana, através de mecanismos de sombreamento e evapotranspiração. Entretanto, entre os variados tipos de espécies arbóreas, quais seriam as mais indicadas para utilização na arborização das vias, a fim de mitigar a temperatura do ar no ambiente urbano? A utilização de ferramentas computacionais é uma alternativa para análise desta questão, tendo em vista que, o uso destes programas auxilia as pesquisas na área de planejamento e avaliação do ambiente construído, por meio da simulação de variados cenários. Um programa bastante utilizado para estudos de interação entre a vegetação e microclimas urbanos é o ENVI-Met, o qual, no entanto, não contém em seu banco de dados, parâmetros relativos a espécies brasileiras, em particular as de cerrado, o que pode gerar cenários microclimáticos incorretos. O objetivo desta pesquisa é propor um método para avaliação do potencial de sombreamento de espécies usadas em arborização de vias urbanas. Para tanto, foram realizadas medições de radiação solar incidente sob copas de algumas espécies, usadas no sombreamento de vias urbanas da cidade de Bauru (SP), cujos resultados foram comparados com os parâmetros das mesmas espécies simulados pelo ENVI-Met. A partir do tratamento dos dados foi gerada uma ferramenta, através da qual é possível extrapolar os resultados para escolha de outras espécies. Assim, espera-se que este método contribua para a indicação de espécies que contenham potencial para mitigação da temperatura do ar nos ambientes construídos.

**Palavras-chave:** Arborização urbana; ENVI-Met; Ambiente construído; Planejamento urbano.

## ABSTRACT

SILVA, Wilton Dias da. **Afforestation of urban streets: shading potential of the species.** (Masters thesis). Program graduate in Architecture and Urbanism, Faculty of Architecture, Arts and Communication (FAAC) of University Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus Bauru, 2016.

The afforestation of the urban streets can be a very effective element in the mitigation of high temperatures in urban layer through shading mechanisms and evapotranspiration. However, among the various types of tree species, which are the best indicated for use in street afforestation, to mitigate the air temperature in the urban environment? The use of computational tools would be an alternative to analyze this question, given that the use of these programs help in the research on planning and evaluation of the built environment through the simulation of various scenarios. A program widely used to study the interaction between urban vegetation and microclimates is the ENVI-Met, which, however, does not contain parameters in your database relating to brazilians species, particularly the cerrado species, which can create incorrect microclimatic scenarios. The aims of this research is to propose a method to evaluation of potencial shading of species used in afforestation of urban streets. For that, radiation measurements were performed in incident solar canopies of some species used in shading urban streets of the city of Bauru (SP), whose results were compared with the parameters of the same species simulated by ENVI-Met. From the processing, a tool was generated through which it is possible to extrapolate the results to select other species. Thus, it is expected that this method contributes to the indication of species that contain potential for mitigating the air temperature in the built environment

**Keywords:** Urban forestry; ENVI-Met; Built environment; Urban planning.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Diferentes tipos de arquitetura de copas para sombreamento.....	19
Figura 02 – Incompatibilidade da arborização com a infraestrutura. ....	20
Figura 03 – Radiação solar incidente sobre o meio urbano transformada em calor..	22
Figura 04 – Radiação solar direta incidente sobre o meio construído.....	22
Figura 05 - Vegetação típica da região de Bauru. ....	24
Figura 06 - Arquivo “PLANTS.DAT” .....	27
Figura 07 – Planta de posicionamento da máquina digital. ....	37
Figura 08 - Cálculo de porcentagem de área de copa e céu.....	39
Figura 09 – Modelização 3D do perfil arbóreo - oiti.....	39
Figura 10 - Espécies selecionadas para a pesquisa. ....	47
Figura 11 - Mapa de localização das espécies selecionadas para a pesquisa. ....	47
Figura 12 - Parte das fotos hemisféricas da falsa-murta. ....	48
Figura 13 - Parte das fotos hemisféricas do oiti. ....	48
Figura 14 - Parte das fotos hemisféricas da quaresmeira. ....	48
Figura 15 - Parte das fotos hemisféricas do resedá. ....	48
Figura 16 - Espécies de copa rala – Quaresmeira e Resedá. ....	50
Figura 17 - Modelagem do perfil e divisão das camadas da falsa-murta. ....	51
Figura 18 - Modelagem do perfil e divisão das camadas do oiti.....	51
Figura 19 - Modelagem do perfil e divisão das camadas da quaresmeira. ....	51
Figura 20 - Modelagem do perfil e divisão das camadas do resedá. ....	51
Figura 21 - Modelagem 3D para cada espécie.....	52
Figura 22 - DAF da Falsa-murta.....	53
Figura 23 - DAF da oiti. ....	53
Figura 24 - DAF da quaresmeira.....	53
Figura 25 - DAF da resedá.....	53
Figura 26 - Modelo de arquivo de configuração para o ENVI-Met - oiti.....	54
Figura 27 – Potencial de Sombreamento (PS) das espécies pesquisadas.....	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Revisão bibliográfica de autores sobre métodos de determinação do IAF .....	28
Tabela 02 – Procedimentos metodológicos.....	30
Tabela 03 - Espécies de maior frequência em vias públicas de dois bairros em Bauru (Jd. Panorama e Nova Bauru).....	46
Tabela 04 - IAF dos grupos arbóreos.....	49
Tabela 05 - Espécies adequadas para a arborização indicadas pela SEMMA. ....	75
Tabela 06 - Espécies encontradas no bairro Nova Bauru. ....	75
Tabela 07 - Espécies de maior frequência nas vias públicas do Bairro Jardim Panorama, na cidade de Bauru, SP. ....	76

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Dados climáticos de Bauru entre o período de 2001 a 2015.....	33
Gráfico 02 – Comparação da radiação solar global no plano horizontal entre os dados registrados (ENVI-Met, EPW, INMET e Medições). .....	43
Gráfico 03 – Potencial de sombreamento. ....	55

## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

**2D** – Bidimensional.

**3D** – Tridimensional.

**DAF** – Densidade de Área Foliar.

**EPW** – Energyplus Weather Data.

**EUA** – Estados Unidos da América.

**FAPAR** – Fração de Absorção Fotossintética da Radiação Ativa.

**FCOVER** – Fração da Cobertura Vegetal.

**IAF** – Índice de Área Foliar.

**INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia.

**LabEEE** - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações.

**LAD** – Leaf Area Density.

**NUCAM** – Núcleo de Conforto Ambiental.

**RAD** – Root Area Density.

**SEMMA** – Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Bauru

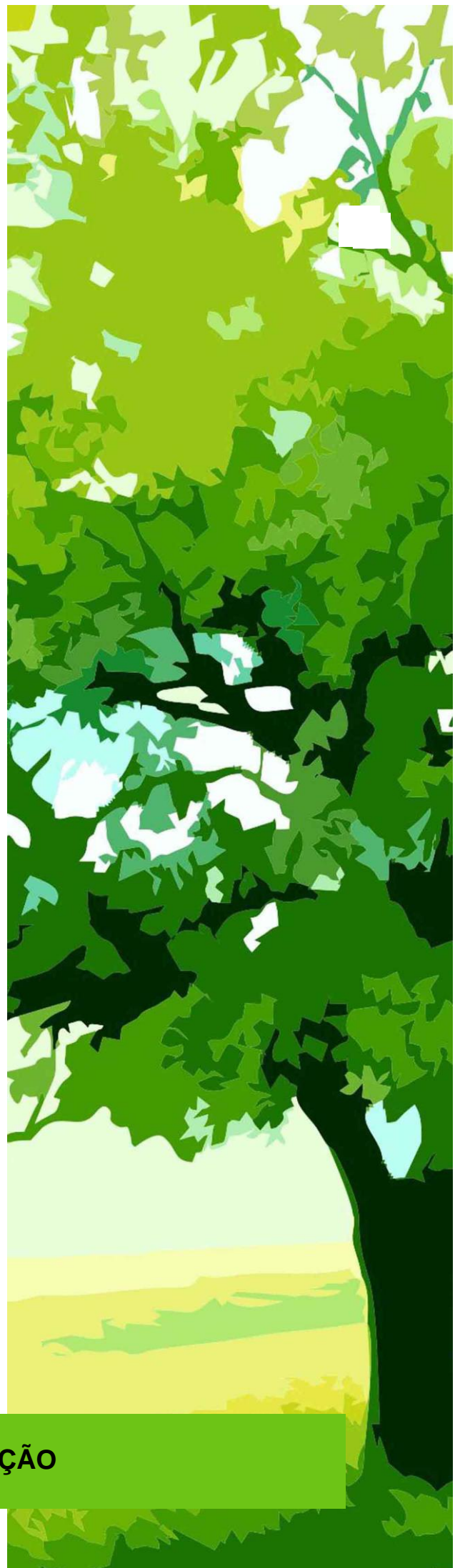
**SP** – São Paulo.

**UNESP** – Universidade Estadual Paulista

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 Objetivo Geral .....	16
1.1.2 Objetivos específicos .....	16
1.2 Revisão da literatura .....	16
1.2.1 A vegetação e os microclimas das vias urbanas .....	17
1.2.2 A arborização de vias nos centros urbanos .....	18
1.2.3 O planejamento arbóreo dos municípios brasileiros .....	19
1.2.4 A influência do sombreamento sobre o ambiente urbano .....	20
1.2.5 Descrição da vegetação existente na região da cidade de Bauru-SP .....	24
1.2.6 O uso do ENVI-Met envolvendo a arborização urbana .....	25
1.2.7 A base de dados de vegetação do ENVI-Met .....	26
1.2.8 Métodos de determinação do IAF .....	27
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
2.1 Caracterização do local de estudo .....	33
2.1.1 Clima .....	33
2.1.2 Características gerais da vegetação viária de Bauru .....	34
2.2 Procedimentos para caracterização das espécies utilizadas em uma fração da arborização de Bauru .....	34
2.2.1 Modelagem da vegetação a partir do banco de dados do ENVI-Met .....	35
2.3 A inserção de novos parâmetros arbóreos no ENVI-Met (métodos e ferramentas) .....	36
2.4 Identificação da DAF e inserção do banco de dados do ENVI-Met .....	40
2.5 Criação e simulação dos cenários .....	40
2.6 Medição da radiação solar global .....	42
2.7 Determinação do potencial de sombreamento .....	43

<b>3 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
3.1 Identificação e seleção das espécies.....	46
3.2 A identificação de novos parâmetros para inserção no ENVI-Met .....	49
3.2.1 A identificação do IAF dos grupos arbóreos .....	49
3.2.2 O redimensionamento das copas ralas através do MultiSpec .....	49
3.2.3 Criação do perfil arbóreo e divisão das camadas pelo AutoCAD .....	50
3.2.4 Cálculo do volume vegetal utilizando o SkechUp .....	52
3.2.5 As DAFs das espécies selecionadas.....	52
3.3 As medições em campo e simulação dos cenários pelo ENVI-Met .....	54
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>62</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>75</b>
Tabelas de vegetação arbórea presente no município de Bauru/SP .....	75



## INTRODUÇÃO

# 1 INTRODUÇÃO

A radiação solar é um dos elementos climáticos mais críticos a ser resolvido nos centros urbanos, pois sua incidência direta sobre as superfícies acaba provocando o aumento de sua temperatura e a diminuição da umidade do ar, gerando o desconforto térmico para a população.

Uma solução para esse problema, principalmente nas estações de calor, é a implantação da vegetação no ambiente construído, uma vez que o sombreamento proporcionado pelas copas arbóreas é um elemento natural para mitigação. Através da arborização de vias urbanas pode-se diminuir o calor dos materiais próximos ao solo, aumentar a umidade e a purificação do ar, além de proporcionar outros ganhos ambientais.

No entanto, devido à rica variabilidade de espécies arbóreas existentes no Brasil, torna-se necessário selecionar quais árvores são mais indicadas para serem plantadas nas vias públicas, uma vez que, cada espécie possui características morfológicas distintas, como altura máxima a atingir, diâmetro do tronco, forma, dimensão da copa, tipos de flores, sementes e raízes, que podem comprometer a infraestrutura existente e o efeito mitigador sobre os agentes negativos que atuam nos microclimas.

Vários estudos neste sentido tem sido realizados nos últimos anos, para analisar a influência do potencial de sombreamento proporcionado pela arborização sobre o meio construído, inclusive utilizando-se de ferramentas computacionais para auxiliar nestas análises de planejamento.

Um programa que exerce a função de analisar as interações que ocorrem no ambiente construído, envolvendo parâmetros da atmosfera, solo e vegetação, é o ENVI-Met, um *software* de origem europeia que tem ganhado notoriedade entre a área acadêmica.

Porém, por ser um programa internacional, o ENVI-Met não possui em seu banco de dados parâmetros relativos à vegetação arbórea existente no Brasil, podendo assim, gerar dados imprecisos para as pesquisas que avaliam a realidade brasileira. A inclusão de parâmetros de vegetação local poderia tornar as simulações com o ENVI-Met mais confiáveis para a realidade dos estudos brasileiros,



viabilizando-o como ferramenta de planejamento da arborização urbana. No entanto, a criação de um banco de dados desse tipo significa um trabalho imenso, por causa dos procedimentos envolvidos na determinação de parâmetros dos espécimes e na posterior simulação computacional.

Além disso, apesar do ENVI-Met apresentar uma interface amigável, seu uso requer conhecimentos avançados sobre microclimatologia, pouco comum fora do âmbito acadêmico. Dessa forma, é conveniente que se tenha uma ferramenta que simplifique o processo de tomada de decisão sem a necessidade de executar o programa para gerar subsídios a ela.

## **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo desta pesquisa é propor um método para avaliação do potencial de sombreamento de espécies usadas em arborização de vias urbanas.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Para atingir o objetivo geral será necessário:

- Identificar as espécies arbóreas utilizadas na arborização de vias urbanas e escolher quais delas serão analisadas nesta pesquisa;
- Atualizar a base de dados vegetal do ENVI-Met para simular o potencial de sombreamento das espécies estudadas;
- Mensurar em campo os dados referente a radiação solar, sob a copa e fora dela das espécies escolhidas;
- Delimitar faixas de sombreamento das espécies pesquisadas.

## **1.2 Revisão da literatura**

A presente revisão aborda os seguintes aspectos: a função de controle térmico da vegetação e seu mecanismo, o contexto de utilização da arborização nos centros urbanos, a abordagem sobre o planejamento arbóreo das cidades

brasileiras, a identificação do tipo de vegetação existente na região de Bauru (SP), a utilização do ENVI-Met para as interações envolvendo a arborização e o ambiente construído, assim como, sua base de dados vegetal.

### **1.2.1 A vegetação e os microclimas das vias urbanas**

A arborização de vias públicas faz parte da infraestrutura urbana, tecida em uma complexa rede de equipamentos públicos, que juntos ajudam a manter a qualidade de vida da população (McPHERSON *et al.*, 1994). Sua função ultrapassa a barreira da estética, assumindo propriedades diversas, como mitigadora da temperatura local e bloqueadora da radiação solar direta sobre as pessoas e os diferentes materiais que compõem o ambiente construído. A arborização de vias também serve de alternativa natural para a redução da poluição atmosférica, de ganhos energéticos e recomposição da vegetação natural (LAERA, 2005).

A utilização da arborização urbana para a mitigação dos microclimas locais é de fundamental importância, como demonstram algumas pesquisas, que a relacionam com a diminuição das temperaturas dos materiais de superfície (SHAMS *et al.*, 2009; CARNEIRO *et al.*, 2007), da temperatura do ar (ABREU; LABAKI, 2010; ROCHA *et al.*, 2011) e com a qualidade do ambiente construído (ROMERO, 2001; ANDRADE, 2005), sendo que estas variáveis interferem diretamente no conforto térmico e na qualidade de vida da população.

A falta de árvores no ambiente urbano traz sérios danos à sua infraestrutura, malefícios a saúde humana e desconforto térmico para a população, pois sem a cobertura vegetal a radiação solar incide diretamente sobre os materiais de superfície desequilibrando a temperatura dos microclimas (ABREU; LABAKI, 2010).

Já que funcionam como protetores solares, segundo Mascaró e Mascaró (2010), o sombreamento proporcionado pelas árvores é uma das funções mais importantes para o ambiente urbano, principalmente em lugares com clima tropical e subtropical úmido, pois as sombras diminuem as temperaturas superficiais dos pavimentos e fachadas das edificações, amenizando as altas temperaturas nas estações quente e, conseqüentemente, a sensação de calor dos usuários.

A radiação solar direta nos materiais de superfícies ocasiona o aumento da temperatura do ar, diminuição da umidade do ar e da vida útil dos materiais, assim como, o desequilíbrio ecológico com, a diminuição da biodiversidade (LEE *et al.*, 2013; ABREU; LABAKI, 2010; MAYER *et al.*, 2009; MEUNIER, 2003).

As árvores plantadas próximas às edificações podem reduzir entre 15% a 35% os custos de energia com equipamentos de condicionamento de ar durante o verão (BARBIRATO *et al.*, 2011). Algumas cidades como Chicago (EUA) têm desenvolvido várias pesquisas comprovando a eficiência da arborização no ambiente construído, envolvendo a população e todos os setores da sociedade, em prol do desenvolvimento de políticas e equipamentos com tecnologias energéticas renováveis (CHICAGO, 2010).

Outras pesquisas demonstram que algumas espécies arbóreas, como o jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*) e o cinamomo (*Melia azedarach*), podem reduzir a temperatura superficial das fachadas entre 2,3°C a 5,5°C (MASCARÓ; MASCARÓ, 2010). Segundo Abreu e Labaki (2010), espécies decíduas, como ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha*), proporcionam boas condições de conforto térmico durante todo o ano, em diferentes distâncias de sua base, enquanto que, espécies perenes como jambolão (*Syzygium cumini*) e mangueira (*Mangifera indica*), mesmo possuindo durante o ano inteiro condições confortáveis à sombra de suas copas, exercem maior influência na sensação térmica de seu entorno imediato durante o verão do que no período do inverno.

### **1.2.2 A arborização de vias nos centros urbanos**

O aumento da diversidade de espécies na arborização viária pode minimizar o impacto global e a propagação de pragas, porém a ampliação do número de plantas não-nativas pode descaracterizar o microambiente local (NOWAK *et al.* 2010).

Existe uma grande variedade de densidade e formato de copas (figura 1), que proporcionam diferentes níveis de sombreamento, que devem ser observados atentamente pelos planejadores, com o fim de serem compatíveis com as condições climáticas dos locais aonde serão inseridas (MALAMUT, 2011). Da mesma maneira, é necessário levar em consideração as mudanças de forma e tamanho que

ocorrerão com o passar dos anos, observando o dimensionamento do ambiente e condições de insolação às quais as árvores estarão sujeitas (MASCARÓ; MASCARÓ, 2010).

**Figura 01** - Diferentes tipos de arquitetura de copas para sombreamento.



Globosa – Elíptica vertical – Cônica – Flambeliforme – Elíptica horizontal – Umbeliforme

**Fonte:** São Paulo (2015), p. 19.

### 1.2.3 O planejamento arbóreo dos municípios brasileiros

Segundo Abreu e Labaki (2010) é fundamental que os planejadores tenham o conhecimento do comportamento de cada espécie que será utilizada no projeto de arborização dos espaços públicos, uma vez que, essa vegetação deverá contribuir para a mitigação dos efeitos causados pela urbanização e conseqüentemente, aumentando o conforto ambiental e qualidade de vida da população.

Muitos municípios brasileiros (SÃO PAULO, 2015; RIO DE JANEIRO, 2015; FORTALEZA, 2013; RECIFE, 2013; NATAL, 2009), assim como, algumas instituições privadas (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG, 2011; COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ – CPFL Energia, 2008), promovem o desenvolvimento de cartilhas sobre a arborização urbana em suas regiões de atuação, contendo nestas, informações relevantes para o planejamento dos municípios, como espécies adequadas, espaçamento entre árvores, dimensionamento dos espaços destinados aos plantios entres outros dados relacionadas ao tema.

Assim, a estrutura do processo de arborização é composta por vários atributos incluindo a composição de espécies arbóreas, número de árvores, densidade, estado fitossanitário, área foliar e biomassa vegetal (NOWAK et al. 2010). Todos esses atributos empregados à estrutura do processo de composição

da arborização viária devem ser observados no momento de planejamento da arborização das áreas e vias públicas.

No entanto, o relacionamento entre a arborização urbana com a população brasileira tem sido conflituoso, visto que o manejo inadequado das espécies e as inúmeras incompatibilidades ocorridas entre a arborização e os equipamentos urbanos (figura 02) têm contribuído para diminuição das árvores nas cidades (GALVÃO *et al.*, 2009; LIGETI, 2007; MINHOTO *et al.*, 2009).

**Figura 02 – Incompatibilidade da arborização com a infraestrutura.**



**Fonte:** BAURU, 2015.

Os planejadores também devem estar atentos a desenvolver ações que promovam a ampliação e conservação da arborização, buscando de forma inovadora atingir a população local (MEUNIER, 2013).

#### **1.2.4 A influência do sombreamento sobre o ambiente urbano**

No estudo do clima urbano é importante destacar primeiro a interação da energia que penetra na atmosfera do ambiente, e em segundo, os efeitos que a atmosfera terrestre produz entre o Sol e a superfície, gerando efeitos como reflexão, absorção e armazenamento térmico, atritos com a ventilação entre outros (ROMERO, 2001; CARDIM, 2011; IZARD; GUYOT, 1980).

Segundo Higuera (2006) o sol influencia diretamente o meio ambiente territorial de diversas maneiras, através da radiação solar direta e da radiação difusa. A atmosfera atua como filtro e espelho da radiação solar, permitindo a entrada de parte de uma banda do espectro da radiação, desde os raios ultravioletas (interessantes urbanisticamente para ativar algumas reações químicas no corpo humano), e os raios infravermelhos (através do valor térmico).

Assim, os elementos climáticos como a temperatura, umidade do ar, radiação, ventos e nebulosidade são constantemente influenciados pelo ambiente construído gerando condições adversas dos ambientes naturais (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

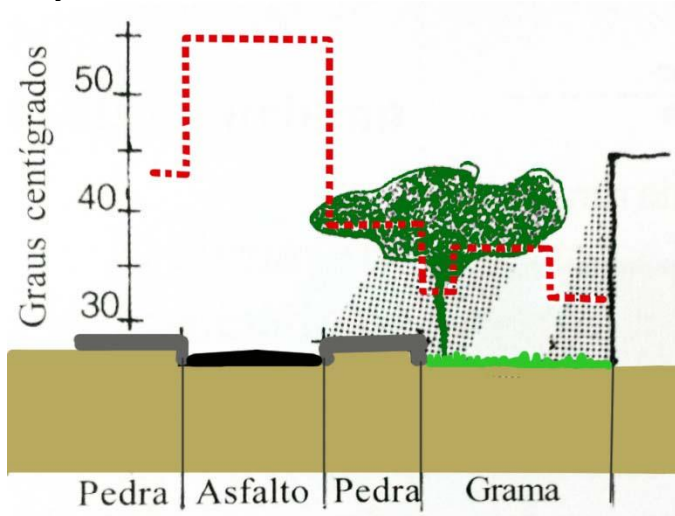
Todo este processo acaba ocasionando o aumento da temperatura do ar, caso não haja nenhuma barreira física para impedir o superaquecimento dos materiais de superfície (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Desta forma, estudos relacionados ao tema de arborização urbana têm aumentado nas últimas décadas, visando contribuir para a evolução das políticas públicas. Observa-se uma ênfase para os estudos que envolvem os efeitos da mitigação da temperatura proporcionados pelas copas das árvores, principalmente nos horários de pico de calor (SHINZATO, 2014; MAYER *et al.*, 2009; HIGUERAS, 2006).

Algumas medidas corretivas como proteção solar, refrigeração passiva e ventilação são necessárias para as estações quentes do ano. O mecanismo termorregulador que as sombras das árvores fornecem é duplo, sendo por um lado a interposição física à radiação solar, protegendo o solo e os pedestres; por outro lado, a absorção do calor mediante a evapotranspiração, liberando vapor d'água ao ambiente, o qual diminui a temperatura efetiva dos espaços arborizados (HIGUERAS, 2006; BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007; ROMERO, 2001).

A radiação solar que incide sobre a vegetação é em sua maior parte absorvida pelas folhas (figura 03), as quais possuem um alto coeficiente de absorção para a radiação solar (em torno de 0,8), por isto as árvores reduzem o reflexo e protegem os pedestres da radiação solar direta. Esta absorção pode ser potencializada dependendo da espessura e extensão de sua copa (ROMERO, 2001; BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

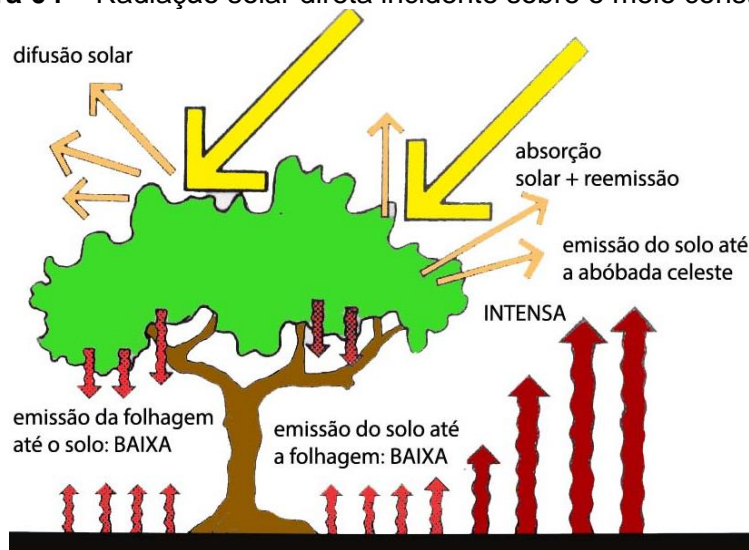
**Figura 03** – Radiação solar incidente sobre o meio urbano transformada em calor.



**Fonte:** Adaptado de Romero, 2001, p. 48.

Além disto, a emissão de ondas longas das folhas das árvores é menor que as emissões demais superfícies do ambiente construído (figura 04), já que a maior parte dela é usada nos processos de fotossíntese e de evapotranspiração. Assim nas áreas verdes as pessoas estão sujeitas a menor pressão do calor radiante, com microclimas favoráveis devido a diminuição da quantidade de calor existentes nas áreas construídas, protegendo o ambiente urbano da insolação indesejada, os quais seriam quentes sem a presença da vegetação (ROGERS; GUMUCHDJIAN, 2001; IZARD; GUYOT, 1980).

**Figura 04** – Radiação solar direta incidente sobre o meio construído.



**Fonte:** Adaptado de Izard e Guyot, 1980, p. 48.

As espécies a serem implantadas nas vias públicas devem contribuir para melhorar a sensação de conforto térmico nas variadas estações do ano, para isto os valores de transmitância luminosa no verão deve ser de no máximo de 20% e entre 60% a 80% no inverno. Por isto, o sombreamento proporcionado pela vegetação exerce grande influência na iluminação natural das áreas construídas, sendo necessário levar em consideração alguns critérios morfológicos vegetais para adquirir uma iluminação adequada como a altura do indivíduo, tipo de copa, folhas e principalmente, o fator de transmitância luminosa (MASCARÓ; MASCARÓ, 2010).

Nos locais de clima com grande amplitude sazonal é importante a utilização de espécies arbóreas decíduas, pois no verão suas copas estarão frondosas proporcionando um bom sombreamento, sendo que no inverno permitirão a passagem da radiação devido à ausência de suas folhas (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Alguns estudos comprovaram que a presença de árvores nos ambientes urbanos aumenta a umidade relativa do ar, sendo necessário avaliar o tipo de copa que compõe o indivíduo arbóreo, pois dosséis muito densos têm características de reter água, aumentando a umidade relativa do ar sob elas. Em locais onde a umidade relativa do ar é inferior a 65% aconselha implantar árvores com folhas claras, lisas e pequenas, pois estes indivíduos possuem o metabolismo acelerado aumentando a evapotranspiração. Por outro lado, em locais onde a umidade do ar é superior a 65%, são indicadas árvores de folhas escuras, grandes e rugosas, as quais reduzem a umidade do ambiente ao reter o teor hídrico nas superfícies foliar, além de reduzir o efeito convectivo do vento (MASCARÓ; MASCARÓ, 2010).

Entretanto, os espaços verdes como praças, parques e arborização viária existentes atualmente em nossas cidades são decorrentes do legado de anos anteriores. Porém, nesta era moderna nossa contribuição para o ambiente construído tem sido a destruição destes espaços em função da ambição pessoal, com a valorização do automóvel, reduzindo assim os espaços públicos em estreitas circulações (ROGERS; GUMUCHDJIAN, 2001).



### 1.2.5 Descrição da vegetação existente na região da cidade de Bauru-SP

A arborização de vias urbanas é composta por uma mistura de espécies nativas e árvores exóticas, que foram introduzidas pela ação do homem àquele local. De um modo geral, a diversidade vegetal que compõe a arborização é bem maior do que se fossem utilizadas apenas as espécies locais para desempenhar esta função, uma vez que, nem todas as árvores nativas possuem características compatíveis para uso nas vias urbanas (CHICAGO, 2009).

Segundo Cavassan (2013) o município de Bauru é coberto por áreas de vegetação denominada como cerrado, sendo que em sua maior parte por cerradão, também conhecida por savana florestada. Porém, ainda em partes da cidade existem alguns fragmentos de mata estacional semidecidual, onde é comum encontrar alguns trechos de área de transição.

Para Niemeyer (2005), o cerrado apresenta baixa frequência arbórea, sendo suas folhas duras e com pêlos, com cascas grossas e de aparência retorcida, integradas com grupos de arbustos, subarbustos e ervas. Já o cerradão apresenta formação florestal arbórea mais densa, com vegetação comum ao cerrado, entretanto adaptadas a ambientes mais secos, uma vez que os solos são geralmente ácidos e de baixa a média fertilidade (figura 05).

**Figura 05** - Vegetação típica da região de Bauru.



Fonte: BAURU, 2015.

Segundo a Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Bauru – SEMMA (2015), para novas mudas arbóreas na cidade são recomendadas as espécies nativas, que visam integrar a nova arborização viária à vegetação existente, entretanto não implicando no microambiente local. As espécies permitidas para o plantio foram divididas em dois grupos (pequeno e médio porte), sendo que nas calçadas onde estão implantadas a rede de energia pública, pode-se plantar apenas árvores de pequeno porte; e nas calçadas que possuem fiação compacta, ou opostas à rede de energia elétrica deverão ser plantadas árvores de médio porte. Algumas espécies exóticas, já adaptadas ao microclima também são permitidas pela secretaria conforme demonstra a tabela 03 do anexo 7.1.

#### **1.2.6 O uso do ENVI-Met envolvendo a arborização urbana**

Na área de planejamento e avaliação do ambiente construído, algumas pesquisas têm aproveitado do uso de ferramentas computacionais, para análise da relação entre a arborização e o ambiente urbano. Entre elas está o ENVI-Met, um programa de origem alemã, que foi desenvolvido para simular as interações ocorrentes no ambiente urbano (BRUSE; FLEER, 1998).

O ENVI-Met é um programa tridimensional que simula as relações microclimáticas de uma determinada área, sob uma perspectiva de microescala, onde há a interação entre o desenho urbano e o microclima. Segundo Bruse (2000) o programa avalia as variadas interações envolvendo os parâmetros solo-terra-ar, assim como, também aborda os efeitos do sombreamento, principalmente, os proporcionados pela vegetação sobre os materiais de acabamento existentes nos centros urbanos.

A utilização do ENVI-Met para avaliar as interações da arborização urbana com o ambiente construído mostrou-se bastante aceita na área acadêmica, uma vez que, este simula o comportamento das variáveis ambientais no espaço urbano (ROMERO *et al.*, 2009; SPANGENBERG *et al.*, 2008), avaliam o uso e ocupação do solo (SOUZA; FARIA 2011), o impacto da vegetação no microclima urbano (PEZZUTO *et al.*, 2011; SHINZATO *et al.*, 2013; ASSIS *et al.*, 2013) e variáveis climáticas (PALME; ORDENES, 2013). Com isso, o ENVI-Met facilita a identificação

de problemas locais realizando o mapeamento dos pontos críticos que deverão ser analisados.

Yu e Hien (2006) utilizaram o referido programa para análises em parques urbanos na cidade de Cingapura, comparando os resultados obtidos com as medições feitas em outros parques circunvizinhos aos estudados. Constatou-se que a vegetação tem influência no resfriamento da temperatura do ar e na redução do consumo de energia pelo sistema de ar-condicionado.

Nakata *et al.* (2010) apresentaram um estudo piloto para a investigação da ergonomia urbana, sob o ponto de vista do pedestre em relação ao conforto térmico. Para isso, foi feita uma avaliação térmica de uma fração urbana através de simulações no ENVI-Met, cujos os resultados obtidos demonstraram a importância do sombreamento, através das copas arbóreas sobre as superfícies construídas, os pedestres e as edificações.

Na cidade de Campinas (SP) Pezzuto *et al.* (2011) avaliaram o impacto de uma área verde significativa (bosque) sobre uma fração de um conjunto de edificações predominantemente residenciais. Neste estudo, constatou-se o aquecimento mais lento das áreas verdes em relação às áreas adensadas; e em contrapartida, um rápido resfriamento das áreas verdes que de suas áreas circunvizinhas.

Todos estes estudos demonstram a grande utilização do ENVI-Met nas pesquisas acadêmicas; entretanto, o tipo de vegetação utilizada nesses estudos nem sempre correspondem às existentes nas regiões estudadas. Tal fato pode ocasionar imprecisão dos resultados, comprometendo a eficácia das pesquisas realizadas.

### **1.2.7 A base de dados de vegetação do ENVI-Met**

O ENVI-Met possui um arquivo com parâmetros da vegetação necessários ao funcionamento do programa (Figura 6). O banco de dados original contém apenas vinte e seis itens, distribuídos entre gramíneas, herbáceas, arbustos e árvores coníferas e decíduas.

**Figura 06 - Arquivo "PLANTS.DAT"**

```

*****ENVI-met Vegetation Database*****
*****
ID TY rs-m a f HH.HH TT.TT LAD1 ...LAD10 RAD1 ... RAD0 NAME
MO 01 400 0.20 20.00 02.00 0.040 0.000 0.100 0.100 Tree 20m aver. dense., no distinct crownlayer
DO 01 400 0.20 20.00 02.00 0.110 0.000 0.100 0.100 Tree 20 m dense., no distinct crown layer
DM 01 400 0.20 20.00 02.00 0.075 0.000 0.100 0.100 Tree 20 m dense., distinct crown layer
dm 01 400 0.20 20.00 02.00 0.075 0.000 0.100 0.100 Tree 20 m dense., distinct crown layer
ds 01 400 0.20 10.00 02.00 0.075 0.000 0.100 0.100 Tree 10 m dense.,distinct crown layer
sm 01 400 0.20 20.00 02.00 0.150 0.000 0.100 0.100 Tree 20 m very dense, distinct crown layer
H2 01 400 0.20 02.00 01.00 2.000 2.000 0.100 0.100 Hedge dense, 2m
Tl 01 400 0.20 10.00 02.00 0.000 0.000 0.100 0.100 Tree 10 m very dense, leafless base
g 03 200 0.20 00.50 00.50 0.300 0.300 0.100 0.100 Grass 50 cm aver. dense
bs 01 400 0.20 20.00 02.00 0.000 0.000 0.100 0.100 Tree 20 m dense.,distinct crown layer
    
```

**Fonte:** BRUSE, 2000, p. 27.

Conforme Bruse (2000) alguns parâmetros do banco de dados podem ser considerados iguais para quaisquer espécies, devido à sua pequena variabilidade, como albedo, densidade de área de raízes e resistência estomatal. A informação mais crítica é o Índice de Área Foliar (IAF<sup>1</sup>), base para o cálculo da Densidade de Área Foliar (DAF<sup>2</sup>).

Segundo Lalic e Mihailovic (2004) as informações sobre a distribuição vertical da DAF são muito importantes em abordagens de modelagem ambientais de diferentes escalas, porém essas escalas são difíceis de serem medidas, ou estimadas precisamente, se não forem escolhidos os métodos corretos para sua medição.

### 1.2.8 Métodos de determinação do IAF

Por intermédio de uma pesquisa bibliográfica realizada em artigos de periódicos (tabela 01) revelam que a determinação do IAF pode ocorrer a partir de quatro métodos básicos:

- Diretamente, através da medição da área da folha e de sua contagem por unidade de área (método destrutivo);

<sup>1</sup> O IAF é um índice que expressa a relação da metade da superfície das folhas da copa de um indivíduo vegetal pela área de projeção desta copa na superfície do solo (MEIR, 2010).

<sup>2</sup> A DAF é um índice que relaciona a área total de um dos lados da folha pelo volume da forma geométrica da copa. Depende de diferentes microcomponentes como densidade dos galhos, comprimento da copa, número de folhas pela dimensão da copa e obstrução da radiação solar pelo dossel (LALIC; MIHAILOVIC, 2004).

- Diretamente a partir de instrumentos, como o LAI-2000 (Li-Cor, Nebraska, USA) e o TRAC (ThirdWave Engineering, Ottawa, Canada);
- Indiretamente com o uso de imagens obtidas com lentes grandes angulares *fisheye* e pós tratamento com programas específicos, como o WinSCANOPY (Regent Instruments Inc., Quebec, Canadá), HemiView (Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK), Gap Light Analyser - GLA (Cary Institute of Ecosystem Studies, New York, US), Hemisfer 1.53 (Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Zurique, Swiss) e CAN-EYE (INRA - Institut National de la Recherche Agronomique, France), entre outros;
- Indiretamente por imagens aéreas, através de sensoriamento remoto ou, escaneamento aéreo a laser.

**Tabela 01** – Revisão bibliográfica de autores sobre métodos de determinação do IAF

AUTOR	MÉTODOS
Bréda (2006); Gower <i>et al.</i> (1999); Shinzato <i>et al.</i> (2014)	Direto destrutivo
Behera <i>et al.</i> (2010); Bréda (2006); Cutini <i>et al.</i> (1998); Gower <i>et al.</i> (1999); Shinzato <i>et al.</i> (2014)	direto por instrumentos
Behera <i>et al.</i> (2010); Bréda (2006); Demarez <i>et al.</i> (2008); Gower <i>et al.</i> (1999); Jonckheere <i>et al.</i> (2004); Lalic e Mihailovic (2004); Meir, Grace e Miranda (2010); Shinzato <i>et al.</i> (2014); Van Gardingen <i>et al.</i> (1999); Zhang, Chen e Miller (2005)	Indireto por imagens hemisféricas
Bréda (2006); Carlson e Ripley (1997); Chen <i>et al.</i> (2006); Gower <i>et al.</i> (1999); Jonckheere <i>et al.</i> (2004); Meir, Grace e Miranda (2010); Shinzato <i>et al.</i> (2014)	Indireto por sensoriamento remoto

O primeiro método, por ser destrutivo, é usado atualmente somente para procedimentos de calibração e validação dos demais, que usam técnicas de correlação. A escolha dos outros métodos depende da escala do estudo (as imagens funcionam somente em campos com cobertura vegetal homogênea, como monoculturas) e da disponibilidade dos instrumentos. Apesar de mais trabalhosos, a bibliografia acima relacionada aponta maior precisão dos métodos de determinação do IAF por imagens em relação às medições diretas por instrumentos específicos.



**MATERIAIS E MÉTODOS**



## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolvimento da pesquisa foi aplicado o método exploratório qualitativo, onde houve uma primeira etapa exploratória, empregando material bibliográfico, uma vez que foram identificadas e levantadas:

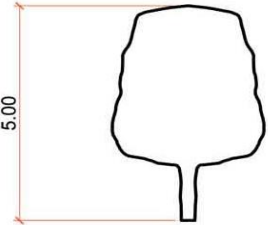
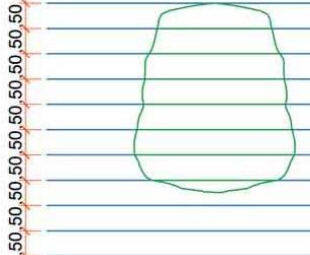
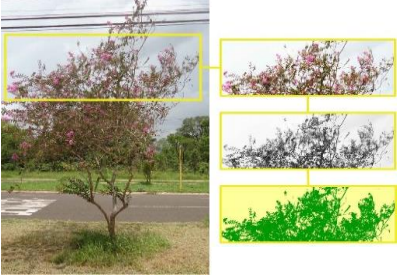

- I. Informações referentes ao impacto da vegetação na sensação de conforto do ambiente construído;
- II. Influência do sombreamento sobre os elementos climáticos;
- III. Descrição da vegetação arbóreas nativas e exóticas do município de Bauru;
- IV. Informações sobre a utilização de ferramentas computacionais, em especial o ENVI-Met, nos estudos sobre o planejamento urbano;
- V. Ausência de um banco de dados com vegetação brasileira;

As etapas contidas na tabela 02 descrevem os procedimentos metodológicos utilizados para obtenção dos resultados (método qualitativo):

**Tabela 02 – Procedimentos metodológicos**

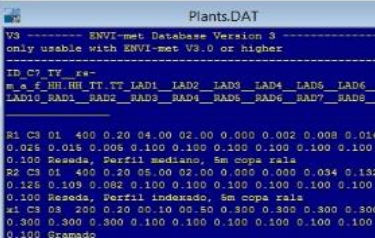
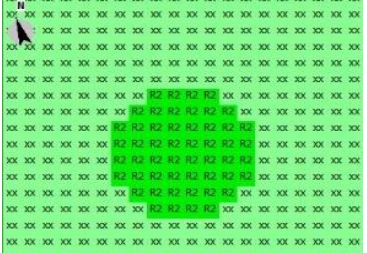
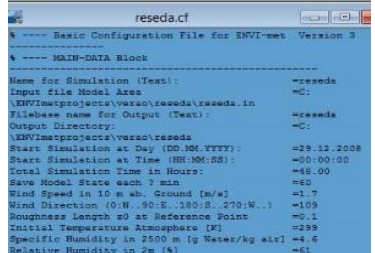
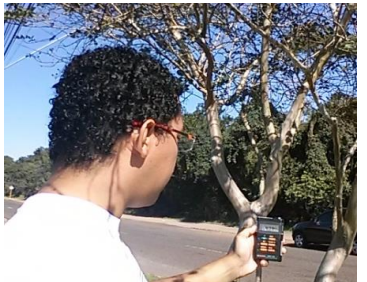
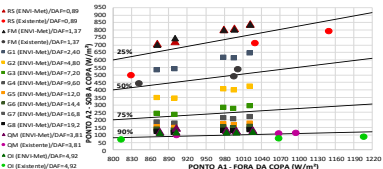

ETAPA	FERRAMENTA	RESULTADO	
1	Escolha da espécie	Levantamento bibliográfico	Ex.: <i>Reseda</i>
2	Registro das fotos hemisféricas	Câmera fotográfica digital com lente grande angular "olho de peixe"	
3	Registro das fotos de perfil	Câmera fotográfica digital comum	

(continuação)

ETAPA	FERRAMENTA	RESULTADO
4	Cálculo do IAF	IAF - 1,78 0,165 camada 10 0,218 camada 09 0,249 camada 08 0,258 camada 07 0,270 camada 06 0,288 camada 05 0,265 camada 04 0,067 camada 03 0,000 camada 02 0,000 camada 01
5	Mensuração da altura da árvores e desenho do perfil arbóreo	
6	Divisão do perfil em 10 camadas	
7	Redimensionamento da copa	
8	Cálculo do volume vegetal	
9	Identificação da DAF	DAF - 0,89 0,082 camada 10 0,109 camada 09 0,125 camada 08 0,129 camada 07 0,135 camada 06 0,144 camada 05 0,132 camada 04 0,034 camada 03 0,000 camada 02 0,000 camada 01



(continuação)

ETAPA	FERRAMENTA	RESULTADO
10	Atualização da lista arbórea	
11	Criação dos cenários	
12	Simulação dos cenários	
13	Medição da radiação solar global	
14	Definição do potencial de sombreamento	
15	Fichamento da espécie	

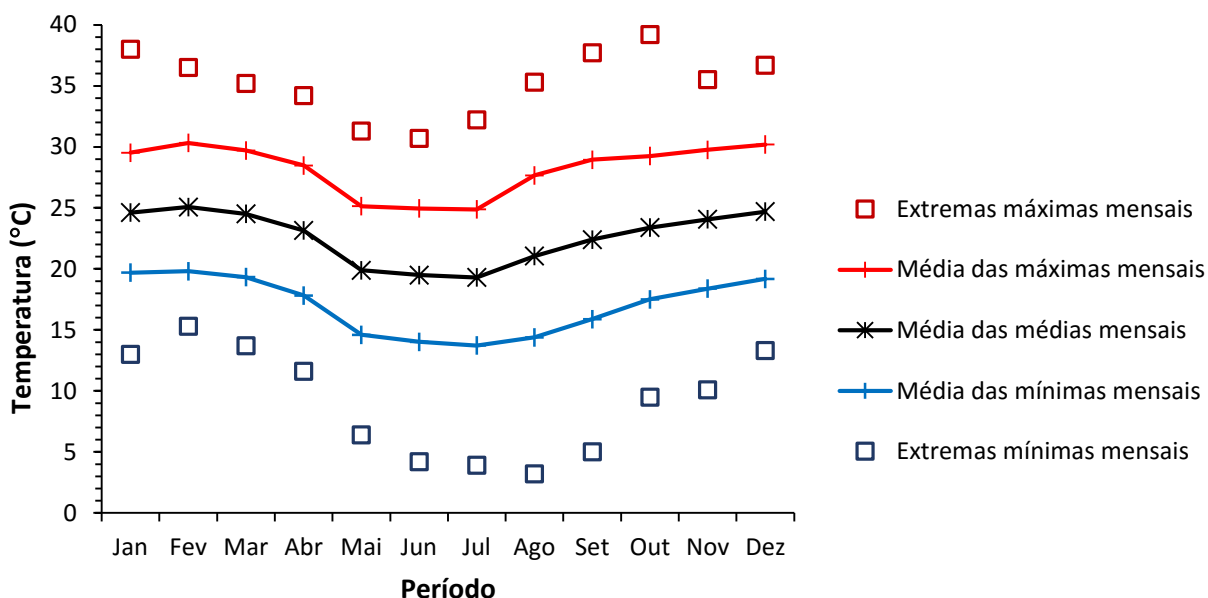
## 2.1 Caracterização do local de estudo

### 2.1.1 Clima

O local escolhido para desenvolvimento da pesquisa foi o município de Bauru, cidade de porte médio, localizada no centro-oeste do Estado de São Paulo (Latitude 22°18'54"S e Longitude 49°03'39"O).

O clima local é caracterizado por verão quente e úmido e inverno frio e seco, conforme demonstra a distribuição da média da temperatura anual de Bauru, entre os anos de 2001 a 2010 (Gráfico 1). Os maiores valores registrados estão associados aos dias de céu limpo, baixa umidade relativa do ar e alta incidência de radiação solar, que ocorrem na região nos meses da primavera e verão. Essa intensa radiação solar, observada ao longo dos meses do ano, justifica a necessidade da arborização urbana para mitigação dos efeitos adversos dessa variável climática.

**Gráfico 01** - Dados climáticos de Bauru entre o período de 2001 a 2015.



**Fonte dos dados primários:** Centro de Meteorologia de Bauru – IPMet. Disponível em: [http://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu\\_esq1=&abre=ipmet\\_html/estacao/historico.php](http://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esq1=&abre=ipmet_html/estacao/historico.php).

### **2.1.2 Características gerais da vegetação viária de Bauru**

A partir dos levantamentos da arborização viária dos bairros Nova Bauru (FONTANA, 2008) e Jardim Panorama (GERBASI, et. al., 2014), foi elaborada uma planilha combinando os dados identificados nas pesquisas citadas acima, pois havia repetição de boa parte das espécies encontradas nos dois bairros (tabelas 06 e 07 do anexo).

### **2.2 Procedimentos para caracterização das espécies utilizadas em uma fração da arborização de Bauru**

Foram selecionadas as espécies com maior frequência na arborização viária de dois bairros da cidade para a avaliação do potencial de sombreamento da arborização em relação ao ambiente construído.

Para a escolha das árvores evitou-se a sobreposição de copas de indivíduos diferentes dos estudados, assim como, a interferência da edificação sobre a arquitetura da copa. Desta forma, foram localizadas árvores isoladas, preferencialmente situadas em canteiros centrais, praças e áreas verdes. Entretanto, nem todas as árvores utilizadas para esta pesquisa foram encontradas da maneira descrita anteriormente. Para estas exceções, foram localizadas árvores plantadas nas calçadas, as quais deveriam ter sua estrutura morfológica sem alterações, principalmente a copa.

As informações das espécies selecionadas foram registradas em fichas (ver apêndice), nas quais, estão contidos os seguintes dados:

- I. Dados Gerais:
  - a) Número de identificação;
  - b) Nome popular;
  - c) Nome científico;
  - d) Época de floração;
  - e) Ciclo;
  - f) Forma da copa;

g) Diâmetro médio do tronco

II. Dados de cada indivíduo:

- a) Localização (endereço);
- b) Altura;
- c) Diâmetro da copa.

Após a identificação destas árvores, foram localizados dentro do município alguns indivíduos para servirem de parâmetro para a modelização e, posteriormente, o registro dos dados necessários para a composição do banco de dados no ENVI-Met. Para compor a amostra de cada espécie foram localizados três indivíduos arbóreos, dos quais foram extraídos os dados necessários para a pesquisa.

### **2.2.1 Modelagem da vegetação a partir do banco de dados do ENVI-Met**

No atual banco de dados de vegetação do ENVI-Met estão registradas 15 espécies arbóreas com densidades variadas. Para auxiliar na definição de qual densidade mínima é necessária para atingir o sombreamento desejável nas vias urbanas foram criados oito modelos arbóreos fictícios (sem especificação de espécie arbórea), tendo-se apenas como base as DAFs das árvores já existentes no ENVI-Met.

Com o cruzamento das faixas que avaliam a quantidade de radiação solar que é retida pelas copas arbóreas com as DAFs fictícias pôde ser extrapolado o valor inicial para o sombreamento mínimo desejado.

Para isto foi identificado o maior valor da DAF do banco de dados do ENVI-Met, e este parâmetro foi dividido pela quantidade de modelos genéricos que foram criados (8), sendo o valor obtido distribuído gradativamente até chegar no valor máximo levantado.

Assim, os modelos genéricos fictícios foram denominados: G1/DAF=2,40; G2/DAF=4,80; G3/DAF=7,20; G4/DAF=9,60; G5/DAF=12,00; G6/DAF=14,40; G7/DAF=16,80 e G8/DAF=19,20.

### 2.3 A inserção de novos parâmetros arbóreos no ENVI-Met (métodos e ferramentas)

Para a inclusão de parâmetros arbóreos das espécies brasileiras junto à base de dados do ENVI-Met, é preciso identificar variáveis vegetais como altura, profundidade das raízes e DAF, de modo que o programa possa reconhecer o vegetal existente e processar as interações ocorrentes no ambiente construído como os fluxos de radiação de ondas curtas e longas, temperatura das superfícies, trocas de calor e umidade no solo, dispersão de gases e partículas, evapotranspiração e fluxo de calor das áreas vegetadas.

Dentre as variáveis necessárias, a DAF é a que requer recursos diferenciados para a sua obtenção, tornando indispensável, a identificação do IAF de cada grupo arbóreo que será pesquisado.

Desta forma, foi adotado o método não-destrutivo indireto através de imagens digitais obtidas com uma câmera fotográfica equipada com uma lente grande angular *fish eye* disponível no Núcleo de Conforto Ambiental (NUCAM) da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP. Buscou-se também um *software* com qualidade comprovada, que demandasse pouco tempo de aprendizado e com uso preferencialmente gratuito para fazer o pós-processamento das imagens e a determinação do IAF.

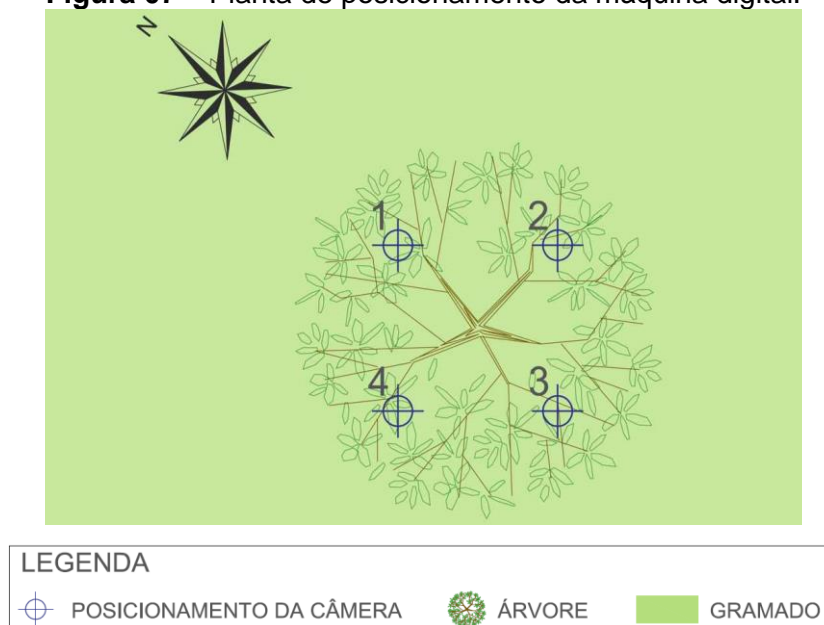
As informações de DAF e altura das espécies foram obtidas conforme o método proposto por Meir *et al.* (2000), sendo que as árvores foram fotografadas de baixo para cima, sob a copa, com a câmera mais a lente grande angular; e de perfil com várias orientações, com lente normal, em dias nublados.

Alguns procedimentos se fazem imprescindíveis no processo de obtenção da DAF:

- **O registro das fotos hemisféricas:** Foi utilizada uma câmera fotográfica digital Nikon Coolpix 4500, na qual foi acoplada uma lente tipo olho-de-peixe, modelo FC-E8. A câmera estava apoiada em um tripé, posicionada a uma altura de 1,50 metros acima do nível do solo, sendo que a lente ficou virada (focada) para o céu. Para cada árvore foram registradas quatro imagens, em

posições diferentes (figura 7), a fim de padronizar os registros, o tripé ficou posicionado próximo ao tronco. O registro das fotos hemisféricas aconteceu no mês de setembro de 2015, da mesma forma que, a fotografia de perfil, a mensuração do diâmetro da copa e altura de cada indivíduo. A maioria das fotos foram realizadas em dias de céu totalmente nublado, visando a não interferência da radiação solar no registro das imagens, entretanto algumas fotos foram registradas em dias de céu limpo

**Figura 07** – Planta de posicionamento da máquina digital.



- **O registro das fotos de perfil:** As imagens de perfil de cada indivíduo arbóreo selecionado ocorreu através do registro feito por uma máquina digital comum, a qual foi posicionada a 1,5 metros de altura do piso e a uma distância aleatória do tronco da árvore, de forma que todo o indivíduo ficasse enquadrado no foco da câmera. O registro das fotos de perfil aconteceram no mesmo dia e horário das fotos hemisféricas.
- **A utilização do programa CAN-EYE<sup>3</sup> para obtenção do IAF:** Para realizar o processamento das imagens hemisféricas, primeiramente é necessário fazer a calibração da máquina fotográfica, sendo que todas as etapas, desde a calibração até o final do processamento das imagens, estão descritas no

<sup>3</sup> INRA - Institut National de la Recherche Agronomique, França

manual do programa (WEISS; BARET, 2010). O CAN-EYE conclui o processamento das imagens hemisféricas apresentando os resultados através de planilhas e figuras, nas quais contam o IAF, além de outros parâmetros vegetais do indivíduo arbóreo analisado.

- **Mensuração da altura da árvore e modelagem do perfil arbóreo através do AutoCAD<sup>4</sup>:** As fotos foram inseridas no programa, para posterior ajuste do tamanho de cada fotografia, deixando o dimensionamento das árvores fotografadas em conformidade com o tamanho real de cada indivíduo. Após esta etapa, as imagens foram separadas por espécies, criando grupos arbóreos, para realizar a fusão dos perfis da mesma categoria em um contorno mediano. Além disso, foi realizada a divisão para cada perfil mediano em dez camadas, para distribuir a DAF conforme solicita o ENVI-Met. As camadas de cada grupo vegetal foram divididas em tamanhos iguais, sendo numeradas em ordem crescente (de baixo para cima).
- **O uso do programa MultiSpec<sup>5</sup> para redimensionar as copas com pouca vegetação:** Foi selecionada uma fração da imagem do dossel (apenas das árvores com copa rala), a qual deveria constar apenas vegetação (copa) e vazios vegetais (céu). Para facilitar o cálculo da porcentagem de vegetação existente, a fração escolhida foi transformada em tons de preto e branco (Figura 8). Para realização da identificação da porcentagem das camadas “copa” e “céu”, foram seguidas as etapas elaboradas por Silva Filho e Girão (2009), as quais descrevem minuciosamente todos os processos necessários para a aquisição destas informações. Após o processamento das informações, o programa elabora um arquivo de texto informando a porcentagem de cada camada solicitada, assim como, imagens temáticas deste processamento. Com a porcentagem de dossel e vazios existentes das árvores processadas no MultiSpec, fez-se a eliminação dos espaços vazios

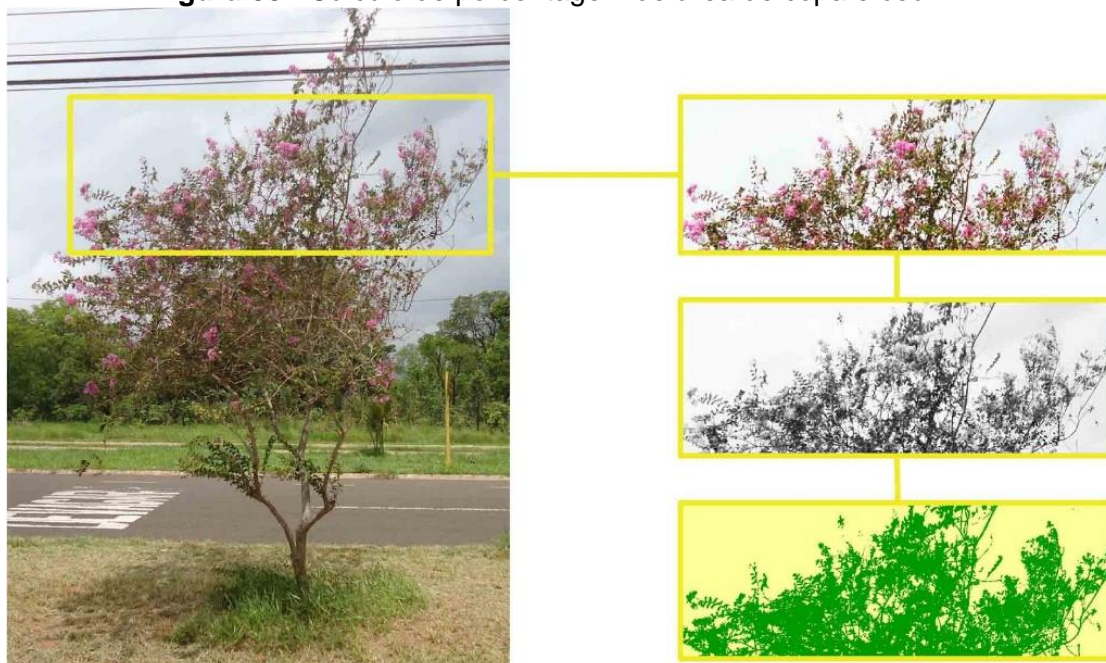
---

<sup>4</sup> Autodesk, Ink. Mill Valley, EUA

<sup>5</sup> Purdue University, West Lafayette, EUA

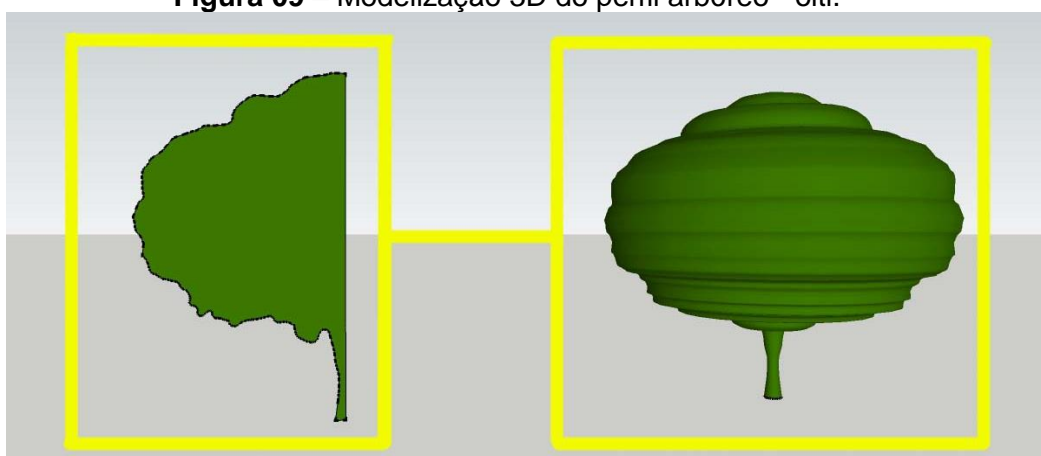
dos indivíduos que continham a copa rala, e posteriormente, refeito o perfil (contorno vegetal) para estes indivíduos no AutoCAD.

**Figura 08 - Cálculo de porcentagem de área de copa e céu.**



- **O cálculo do volume vegetal através do SkechUp<sup>6</sup>:** Os desenhos dos perfis elaborados no AutoCAD foram inseridos no programa, e criado a partir deles o tri-dimensionamento das árvores inseridas. Através de uma das ferramentas do SketchUp identificou-se o valor do volume total de cada árvore modelada.

**Figura 09 – Modelização 3D do perfil arbóreo - oiti.**



<sup>6</sup> Trimble Navigation Limited, Sunnyvale, EUA



## **2.4 Identificação da DAF e inserção do banco de dados do ENVI-Met**

Após a identificação da altura, volume vegetal, IAF e divisão das dez camadas de cada espécie, os dados foram compilados para se calcular a DAF de cada grupo arbóreo. Os valores do IAF foram distribuídos em cada uma das dez camadas, respeitando a proporcionalidade de porcentagem vegetal em cada faixa. Neste caso, foram multiplicados os valores desses dois parâmetros (IAF e proporção de volume vegetal de cada camada) para obtenção da DAF.

O ENVI-Met solicita informações referentes à profundidade das raízes e densidade delas, porém faltam pesquisas na área relatando essas informações. Foram adotados os valores sugeridos por Bruse (2000), ou seja, a profundidade de 2 metros das raízes para todas as espécies, assim como o valor de 0,100 para cada uma das dez camadas da raiz.

## **2.5 Criação e simulação dos cenários**

Para simular o potencial de sombreamento das espécies analisadas na interação com o ambiente construído, foram criados cenários contendo as informações das espécies selecionadas.

Foi modelado o mesmo cenário para todas as espécies, porém criado um arquivo por grupo arbóreo, o qual continha uma base de 10 metros de largura por 10 metros de comprimento revestido por gramado, simulando um trecho de canteiro central de avenida ou parque.

Para a escolha do dia da simulação foi utilizado o arquivo<sup>7</sup> climático do ano típico de Bauru (formato EPW), disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE, da Universidade Federal de Santa Catarina. O dia escolhido deveria estar inserido na estação em que seriam realizadas as medições em campo (neste caso, optou-se pelo verão), no dia mais quente desta época do ano.

---

<sup>7</sup> Disponível em: < <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/formato-epw>>.

Após a modelização dos cenários, o ENVI-Met solicita a criação de um arquivo auxiliar (denominado arquivo de configuração), no qual constam as informações climáticas e geográficas, assim como, especificação do caminho dos diretórios onde o programa irá disponibilizar e salvar os dados processados. Os dados climáticos, que deverão constar neste arquivo auxiliar são:

- I. Velocidade do vento;
- II. Direção do vento;
- III. Umidade a altura de 2 metros
- IV. Temperatura atmosférica inicial;
- V. Umidade específica a 2.500 metros;

Os dados para as informações dos itens I a III foram adquiridos na Estação Automática de Bauru, disponibilizada no site do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia<sup>8</sup>.

Os demais utilizaram as informações disponibilizadas pelo Departamento de Ciência Atmosférica da Universidade de *Woyming*<sup>9</sup> (EUA), sendo selecionado na plataforma deste *site* o dia desejado e a estação mais próxima do local pesquisado (neste caso, os dados foram disponibilizados pela estação de São Paulo – Campo de Marte). Por não se tratar exatamente do local da simulação, poderia haver erros se os dados fossem tratados de forma absoluta, principalmente se tratando de temperatura e umidade relativa do ar; no entanto, como no presente estudo eles são tratados comparativamente, tal erro não ocorre.

O cálculo dos itens IV e V seguiram as instruções contidas no tutorial para iniciante, desenvolvido por Mendes (2014), o qual recomenda a utilização de uma regressão linear para a definição da temperatura potencial e uma regressão exponencial para o cálculo da umidade específica a 2.500m.

Duas variáveis que não são comentadas em nenhum dos estudos e tutoriais acima mencionados e são assumidas com os valores padrão do ENVI-Met, mas que

---

<sup>8</sup> Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>.

<sup>9</sup> Disponível em: <<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>>.

exercem grande influência nos resultados do programa são a temperatura e a umidade do solo (SOUZA; FARIA, 2011). Dessa forma, essa variável foi ajustada interativamente, através de várias simulações, até que a resposta do ENVI-Met tivesse boa correlação com os dados de temperatura e umidade do ar do arquivo EPW de referência. Na ausência de outras indicações, assumiu-se o perfil de temperaturas do solo proposto por Costa (1982):

- De 0 a 20 cm de profundidade: temperatura sol-ar do horário de início da execução da simulação;
- De 20 a 50 cm de profundidade: temperatura média mensal do ar;
- Abaixo de 50 cm de profundidade: temperatura média mensal do ar.

Concluído os procedimentos acima, foi iniciado o processo de realização das simulações (processamento dos dados) dos cenários no ENVI-Met. Os resultados obtidos através da simulação dos cenários, relacionando as árvores incluídas na base de dados do ENVI-Met e o ambiente construído, foram disponibilizados através de gráficos e imagens, com isso foi possível analisar a relação entre a radiação solar sob a copa em relação à incidente fora dela. Assim, conhecido o DAF de uma determinada espécie arbórea, é possível saber de antemão seu potencial de sombreamento.

## **2.6 Medição da radiação solar global**

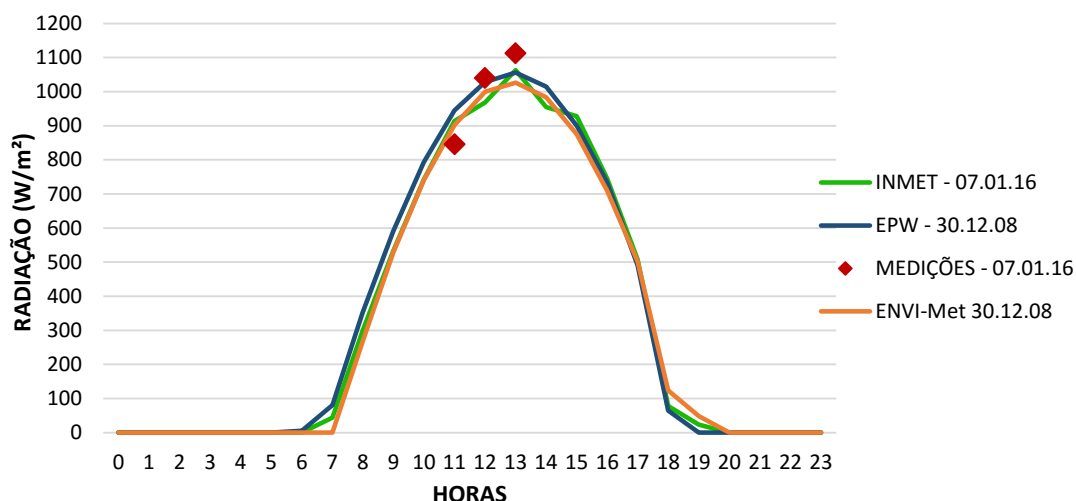
Foram realizadas medições de radiação solar incidente sob copas de algumas espécies, usadas no sombreamento de vias urbanas da cidade de Bauru (SP), cujos resultados foram comparados com os parâmetros das mesmas espécies simulados pelo ENVI-Met (gráfico 2).

Para a medição da radiação solar global incidente sobre as árvores estudadas, tanto sob a copa como fora dela, utilizou-se um medidor de energia solar “*Solar Power Meter*” modelo MES-100 da empresa Instrutherm.

O manuseio do aparelho aconteceu de forma manual, sendo posicionado a 1,5 metros de altura do piso, com o sensor, sempre perpendicular ao plano

horizontal. Sob a copa, o aparelho foi mantido a uma distância aleatória do tronco, de forma que o sensor ficasse posicionado à sombra do dossel. Fora da copa, o aparelho era posicionado longe da árvore, para que a sombra do indivíduo arbóreo não interferisse na medição da radiação.

**Gráfico 02** – Comparação da radiação solar global no plano horizontal entre os dados registrados (ENVI-Met, EPW, INMET e Medições).



As medições em campo para registro da radiação solar direta, sobre as árvores pesquisadas (falsa-murta, oiti, quaresmeira e resedá), ocorreram na primeira semana de janeiro de 2016, período mensal correspondente aos cenários simulados no ENVI-Met (30 de dezembro de 2008). As condições climáticas nos dias das medições, eram de céu parcialmente nublado devido a característica da estação anual.

## 2.7 Determinação do potencial de sombreamento

Com o tratamento dos dados foi gerada uma ferramenta, através da qual é possível extrapolar os resultados para escolha de outras espécies.

Para a análise das DAFs, os dados de radiação obtidos foram divididos em faixas, as quais indicavam a porcentagem de radiação que cada espécie retinham (25%, 50%, 75% e 90%). Foi comparada apenas a radiação solar global sob a copa das árvores e fora dela.

Dessa forma será possível avaliar o potencial de sombreamento, ou seja, a atenuação da incidência de radiação solar a ser obtida com as espécies arbóreas a partir do conhecimento de sua DAF.



**ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### 3 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos dados e discussão dos resultados ocorreu por intermédio de planilhas, imagens e gráficos, necessários para a compreensão do objeto pesquisado. Assim, os dados são apresentados e discutidos seguindo a cronologia necessária para a obtenção dos resultados planejados.

#### 3.1 Identificação e seleção das espécies

De acordo com as pesquisas levantadas, no bairro Nova Bauru a grande maioria dos indivíduos arbóreos (83,93%) são representados pelo Oiti (*Licania tomentosa*); 12,83% são Falsa-murta (*Murraya paniculata*) e 11,41% são Ficus (*Ficus benjamina*), não havendo uma grande variabilidade na distribuição das espécies arbóreas, o que compromete a biodiversidade local (Tabela 06 do anexo). No bairro Jardim Panorama, pôde-se identificar uma maior variabilidade de vegetação arbórea (Tabela 07 do anexo). Ainda assim, percebe-se a predominância da espécie Oiti (*Licania tomentosa*) com 29,14%, logo após o Resedá (*Lagerstroemia indica*) com 10,99% e da Quaresmeira (*Tibouchina granulosa*) possuindo 10,47%. No total foram identificadas 49 espécies e desta listagem foram escolhidas as mais recorrentes para compor esta pesquisa (tabela 3).

**Tabela 03** - Espécies de maior frequência em vias públicas de dois bairros em Bauru (Jd. Panorama e Nova Bauru).

Nome Comum	Nome Científico	Família	Porte	Quant.	Freq. (%)
Oiti	<i>Licania tomentosa</i>	Chrysobalanaceae	Médio	470	39,13
Falsa murta	<i>Murraya paniculata</i>	Rutaceae	Pequeno	131	10,91
Espécie não reconhecida				96	7,99
Resedá	<i>Lagerstroemia indica</i>	Lythraceae	Pequeno	82	6,83
Quaresmeira	<i>Tibouchina granulosa</i>	Melastomataceae	Médio	74	6,16

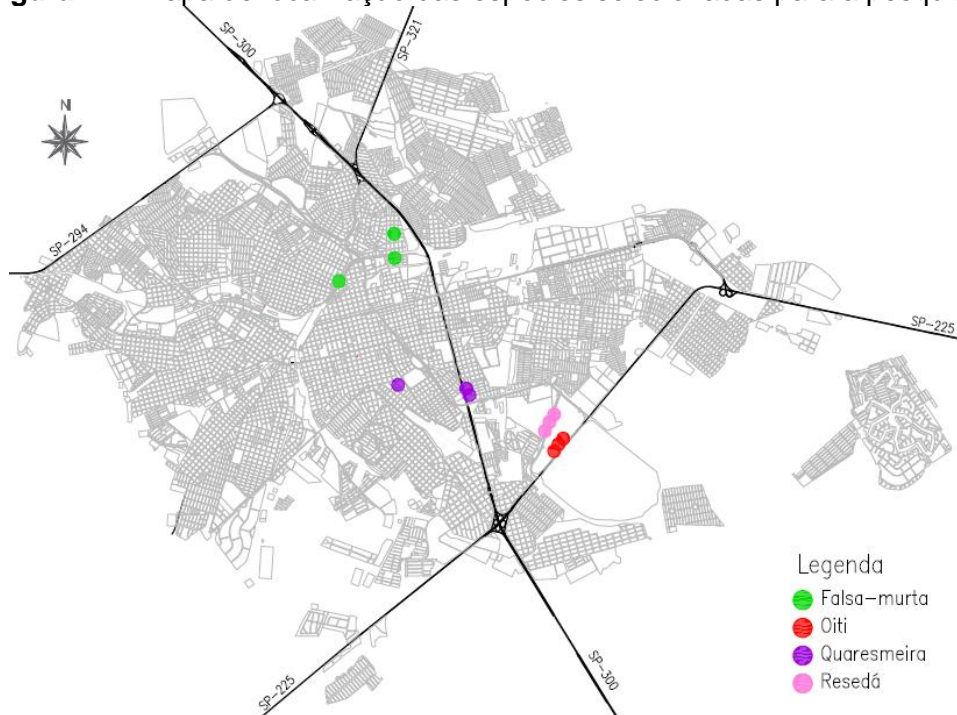
Desta lista geral, onde foram unidos os dados citados acima, foram selecionadas as quatro primeiras espécies com maior frequência para compor a pesquisa, sendo relacionadas as seguintes árvores: oiti (*Licania Tomentosa*) – 39,13%, falsa-murta (*Murraya paniculata*) – 10,91%, resedá (*Lagerstroemia indica*) – 6,83% e quaresmeira (*Tibouchina granulosa*) – 6,16% (figura 10).

**Figura 10 - Espécies selecionadas para a pesquisa.**



Das árvores selecionadas, duas pertencem ao grupo das espécies de pequeno porte (falsa-murta e resedá) e as outras duas do grupo de médio porte (oiti e quaresmeira). Duas espécies foram encontradas em canteiros, próximas umas das outras; já as outras árvores (falsas-murtas e quaresmeiras) estavam inseridas nas calçadas da malha urbana (figura 11). Os oitis foram localizados em um dos canteiros de estacionamento, existente no interior da UNESP, os resedás no canteiro central de uma avenida nas proximidades da UNESP e as demais árvores dispersas pela cidade.

**Figura 11 - Mapa de localização das espécies selecionadas para a pesquisa.**





Com o resultados das fotos hemisféricas (figuras 12 a 15) pode-se perceber a densidade vegetal de cada uma das árvores estudadas, principalmente a pouca estrutura vegetal que possui o resedá se comparado com as demais espécies.

**Figura 12** - Parte das fotos hemisféricas da falsa-murta.



**Figura 13** - Parte das fotos hemisféricas do oiti.



**Figura 14** - Parte das fotos hemisféricas da quaresmeira.



**Figura 15** - Parte das fotos hemisféricas do resedá.



Percebe-se pela amostra das imagens de cada espécie, a densidade foliar de cada grupo arbóreo, visto que, a falsa-murta e o oiti possuem copas mais densas, se comparadas com o dossel da quaresmeira e, principalmente, com o resedá.

### 3.2 A identificação de novos parâmetros para inserção no ENVI-Met

Para o levantamento da DAF das espécies selecionadas foi necessário a elaboração de várias etapas, utilizando algumas ferramentas computacionais para a composição desta variável. Para tanto, foi preciso identificar a partir de fotos hemisféricas o IAF e dimensões morfológicas dos indivíduos, conforme demonstram os resultados descritos abaixo.

#### 3.2.1 A identificação do IAF dos grupos arbóreos

Através do processamento das imagens hemisféricas pelo software CAN-EYE, pode-se identificar o IAF de cada grupo arbóreo (tabela 2).

**Tabela 04 - IAF dos grupos arbóreos.**

ESPÉCIE	Falsa-murta ( <i>Murraya paniculata</i> )	Oiti ( <i>Licania Tomentosa</i> )	Quaresmeira ( <i>Tibouchina granulosa</i> )	Resedá ( <i>Lagerstroemia indica</i> )
IAF	3,79	4,10	3,47	1,78

#### 3.2.2 O redimensionamento das copas ralas através do MultiSpec

Duas das espécies pesquisadas (quaresmeira e resedá) possuem baixa densidade vegetal, tornando a arquitetura de sua copa muito rala (figura 16).

**Figura 16** - Espécies de copa rala – Quaresmeira e Resedá.



Verificou-se pela análise das frações das imagens no MultiSpec, que a área real de vegetação da copa do “resedá 1” é 34% menor que o perfil existente; já o “resedá 2” teve uma redução de 32%, e o “resedá 3” 23%, sendo a porcentagem de redução média da área do dossel desta espécie de 30%. Assim, o perfil final do resedá (desenho da copa) foi reajustado seguindo o índice médio de redução.

Da mesma maneira foi calculado a redução da área real de vegetação da copa da quaresmeira, sendo a redução da “quaresmeira 1” de 11%; “quaresmeira 2” de 12% e da “quaresmeira 3” uma redução de 18%, sendo a redução média para esta espécie de 14%, de seu perfil original.

A redução expressiva do tamanho efetivo vegetal do resedá enfatiza que a copa desta espécie permite com facilidade a transmissão da radiação solar incidente sobre ela. O mesmo não ocorre com a quaresmeira, pois mesmo possuindo em sua copa alguns vazios, não sofreu grande impacto no sombreamento devido à redução do tamanho de seu dossel.

### **3.2.3 Criação do perfil arbóreo e divisão das camadas pelo AutoCAD**

Nesta etapa foi desenhado o perfil da copa de cada indivíduo arbóreo (figuras 17 a 20), sendo atribuída a forma elíptica horizontal para a falsa-murta e oiti, elíptica vertical para o resedá e globosa para a quaresmeira.

Através das imagens dos perfis arbóreos também foi possível analisar que as espécies de pequeno porte (falsa-murta e resedá) apresentam pequenas projeções de copa, sombreando muito pouco as superfícies ao seu redor. Já as outras duas espécies, mesmo estando isoladas de outras árvores demonstraram que possuem um potencial de sombreamento bem superior às árvores de pequeno porte.

**Figura 17 - Modelagem do perfil e divisão das camadas da falsa-murta.**



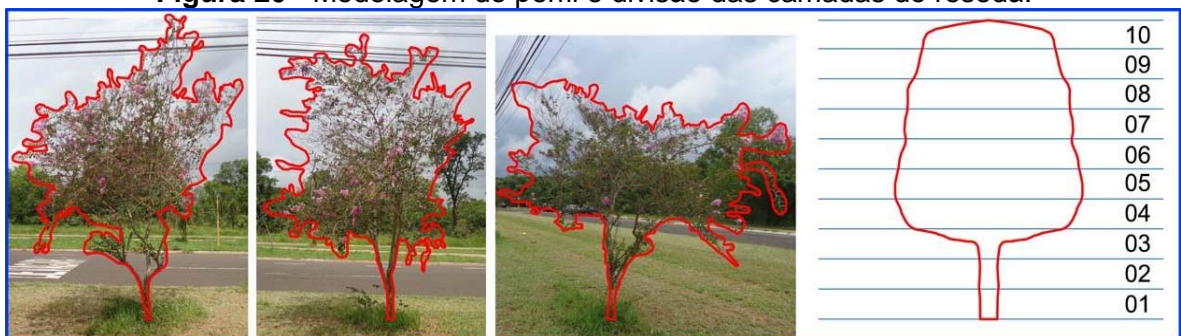
**Figura 18 - Modelagem do perfil e divisão das camadas do oiti.**



**Figura 19 - Modelagem do perfil e divisão das camadas da quaresmeira.**



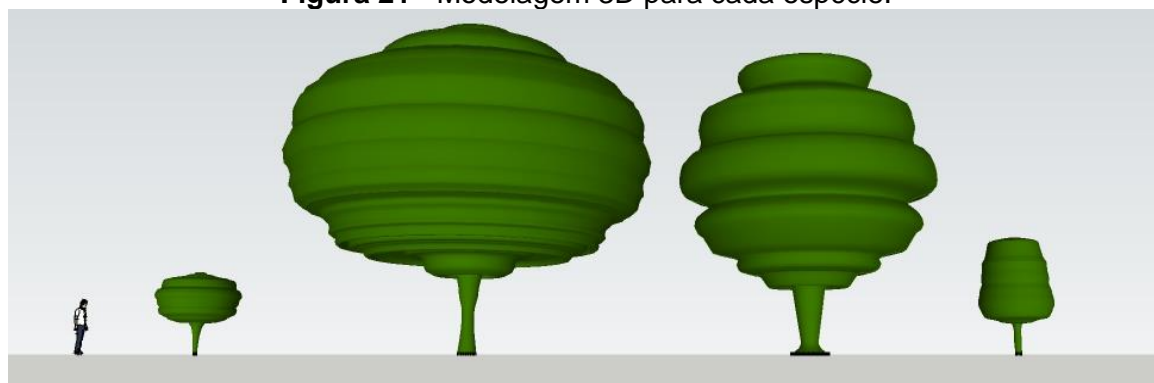
**Figura 20 - Modelagem do perfil e divisão das camadas do resedá.**



### 3.2.4 Cálculo do volume vegetal utilizando o SkechUp

A identificação do volume vegetal de cada espécie ocorreu por intermédio da modelagem do perfil arbóreo no *software* SkechUp (figura 21).

**Figura 21** - Modelagem 3D para cada espécie.



ESPÉCIE:	Falsa-murta	-	Oiti	-	Quaresmeira	-	Resedá
VOLUME:	6,25m <sup>3</sup>	-	625,55m <sup>3</sup>	-	368,20m <sup>3</sup>	-	10,80m <sup>3</sup>

Com a identificação do volume de cada espécie ficou nítido a discrepância de densidade entre as árvores de pequeno porte em relação as de médio porte, sendo o maior intervalo entre a falsa-murta com o oiti, o qual possui volume vegetal dez vezes superior. Embora o resedá aparente ter uma copa bastante rala, seu volume vegetal é superior à da falsa-murta, fato o qual está relacionado à sua altura e projeção da copa que são superiores a da falsa-murta.

Das árvores utilizadas para a pesquisa, com exceção dos oitis que ainda estão em fase de crescimento podendo aumentar sua estatura em torno de uns 3 metros, as demais espécies já estão em fase adulta, não modificando expressivamente sua estrutura morfológica.

### 3.2.5 As DAFs das espécies selecionadas

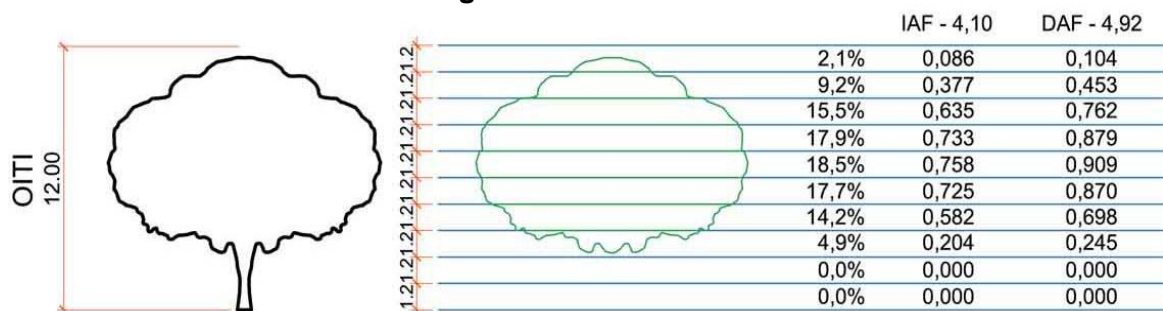
Com a identificação dos IAF, a exclusão dos vazios de algumas copas, e a definição dos volumes arbóreos, chegou-se às DAFs das árvores pesquisadas.

A DAF, assim como o IAF de cada espécie, foram distribuídas para cada uma das dez camadas, respeitando a porcentagem proporcional do volume do dossel correspondente àquele trecho da camada (Figuras 22 a 25).

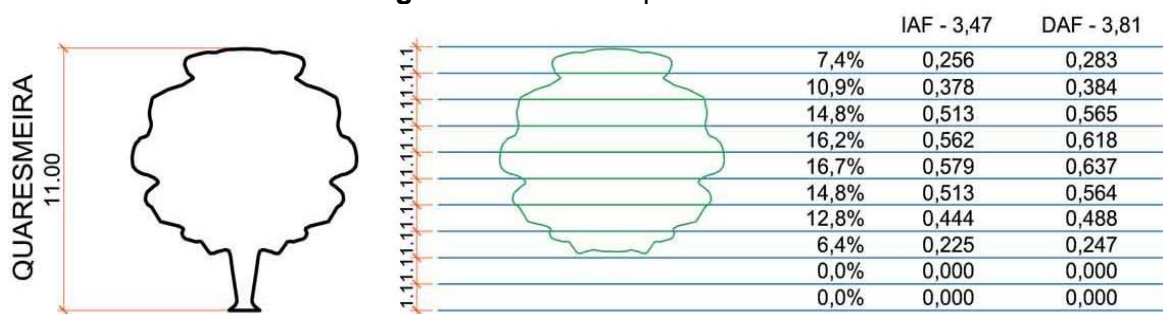
**Figura 22 - DAF da Falsa-murta.**



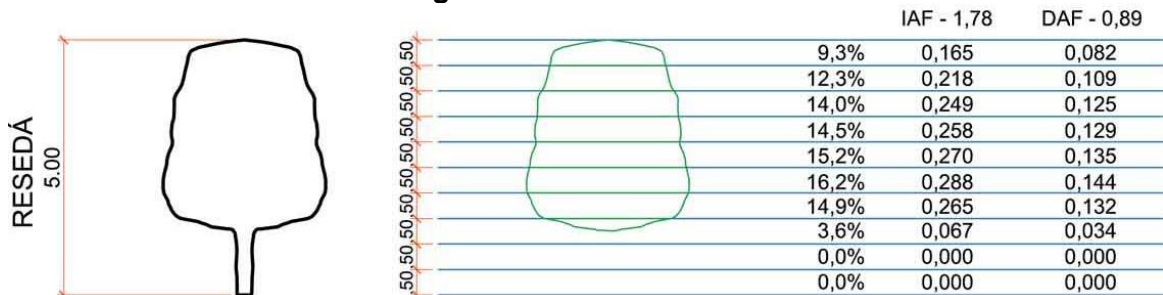
**Figura 23 - DAF da oiti.**



**Figura 24 - DAF da quaresmeira.**



**Figura 25 - DAF da resedá.**



Embora o volume vegetal e as dimensões físicas do resedá sejam superiores aos da falsa-murta, o valor final de sua DAF ficou bem inferior ao da falsa-murta devido ao seu baixo IAF. O valor deste parâmetro foi decisivo para aumentar a DAF da falsa-murta e diminuir a do resedá. Entretanto, mesmo a falsa-murta possuindo o segundo maior IAF dentre as espécies estudadas, o valor final de sua DAF foi o segundo mais baixo, não chegando nem na metade do valor da segunda maior DAF (quaresmeira).

### 3.3 As medições em campo e simulação dos cenários pelo ENVI-Met

Com as simulações dos cenários contendo a vegetação pesquisada, assim como os modelos arbóreos fictícios (DAF=2,40 a DAF=19,20), foi possível realizar a avaliação do potencial de sombreamento destes perfis.

Os resultados referentes às condições climáticas e informações geográficas do local escolhido para a simulação foram registrados no arquivo de configuração do ENVI-Met, conforme ilustra a figura 26.

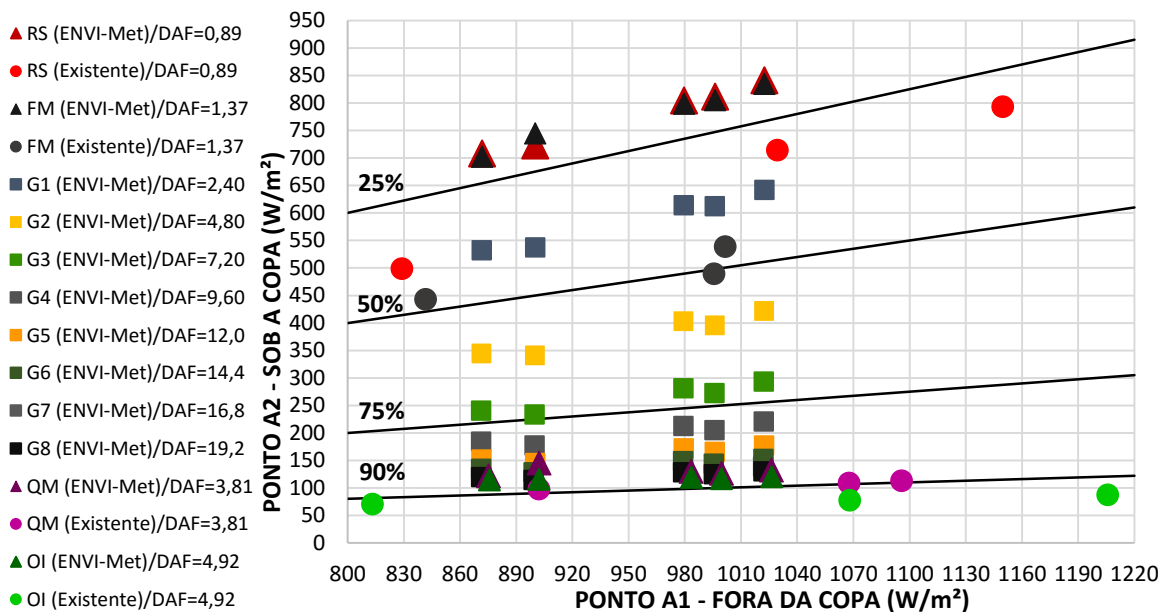
**Figura 26** - Modelo de arquivo de configuração para o ENVI-Met - oiti.

```
% ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 -----
% ---- MAIN-DATA Block -----
Name for Simulation (Text):                =oiti
Input file Model Area                     =C:\ENVImetprojects\verao\oiti\oiti.
Filebase name for Output (Text):          =oiti
Output Directory:                         =C:\ENVImetprojects\verao\oiti
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):     =29.12.2008
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):      =00:00:00
Total Simulation Time in Hours:           =48.00
Save Model State each ? min               =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]      =1.7
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =109
Roughness Length z0 at Reference Point    =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]       =299
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =4.6
Relative Humidity in 2m [%]              =61
Database Plants                           =[input]\Plants.dat
```

O gráfico 03 compara os dados obtidos em campo, com as espécies fictícias elaboradas a partir do banco de dado existente no ENVI-Met, assim como, com as espécies locais que foram inseridas neste programa. Neste gráfico foram relacionados os dados referentes a radiação solar global que incide sobre o plano

horizontal no período entre às 10h às 14h, intervalo em que o sol estaria posicionado mais a pino sobre os indivíduos arbóreos.

**Gráfico 03 – Potencial de sombreamento.**



Onde: RS = Resedá / FM = Falsa-murta / G = Genérico / QM = Quaresmeira / OI = Oiti

Os dados do gráfico relacionam os registros da radiação solar global ( $W/m^2$ ) sobre o ponto A1 (receptor fixado fora da projeção da copa), e ponto A2 (receptor fixado sob a copa das árvores), os quais comparam os dados simulados pelo ENVI-Met, com os modelos genéricos fictícios elaborados a partir das densidades existentes no programa (G1(ENVI-Met)/DAF=2,40 a G8(ENVI-Met)/DAF=19,20), e as medições realizadas em campo. As linhas diagonais sobrepostas ao gráfico correspondem ao sombreamento proporcionado pelas copas. Os valores obtidos nas simulações e medições correspondem ao intervalo das 10 às 14 horas, no qual, pela altura relativa do sol, não há incidência de radiação solar direta no instrumento por debaixo da copa.

Com a demarcação das faixas de potencial de retenção da radiação solar direta (entre 25% a 90%, conforme demonstra o gráfico 6) pode-se avaliar quais indivíduos arbóreos estudados possuem melhor desempenho na diminuição da radiação incidente no solo.



Com relação ao resedá (tanto o existente, quanto àquele que foi simulado pelo ENVI-Met), independentemente do horário de medição, os dados obtidos demonstraram que a radiação incidente sobre o indivíduo arbóreo é praticamente a mesma tanto sob a copa, ou fora dela. Ou seja, esta espécie não possui característica morfológica para proporcionar sombreamento suficiente para proteger os transeunte e tampouco o ambiente construído da radiação solar. O sombreamento do resedá medido em campo demonstrou que ele reteve por volta de 50% da radiação solar incidente sobre o indivíduo, enquanto que o resedá simulado pelo ENVI-Met reteve cerca de 25% da radiação. Como o programa entende o formato da copa como um volume todo preenchido por vegetação (folhas e galhos), os dados finais entre real e simulado acabaram não coincidindo.

O mesmo ocorreu com os dados referentes à falsa-murta, entretanto a diferença de valores entre os dois tipos de análises (real e simulado) não foram tão discrepantes. A diferença de radiação simulada pelo ENVI-Met sob a copa foi 25% menor do que fora dela, enquanto que para as espécies medidas *in loco* a diferença de radiação foi em torno dos 35% menor sob a copa do que fora dela. Assim, a utilização da falsa-murta para sombreamento do ambiente construído também se demonstra ineficaz, principalmente devido ao tamanho máximo de projeção que sua copa atinge, não ultrapassando 1,5 metros de raio.

Já os dados obtidos das quaresmeiras demonstraram que sua copa proporciona um potencial de sombreamento em torno de 90%, tanto para os indivíduos medidos em campo, quanto para os simulados pelo ENVI-Met.

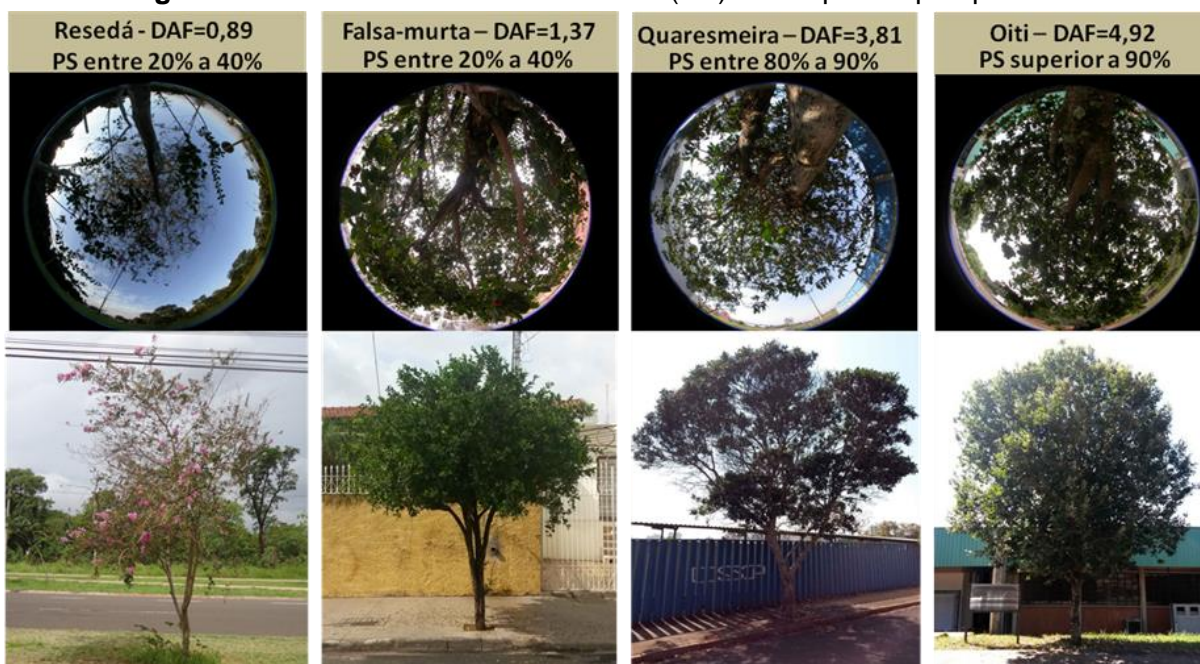
Da mesma maneira os oitis demonstraram desempenhos parecidos com as quaresmeiras, entretanto as espécies medidas em campo demonstraram potencial de sombreamento um pouco superior aos 90%.

Por possuírem um formato de copa globosa e por serem espécies de porte médio, as sombras das quaresmeiras e oitis impactam positivamente sobre o meio urbano no período do verão, evitando que a radiação solar incida diretamente sobre os materiais de superfície, como asfalto e calçamento, além de possibilitar aos transeuntes, ambientes propícios para a interação social (figura 27).

As espécies de pequeno porte avaliadas (falsas-murtas e resedás) possuem DAFs muito baixas, ficando seus desempenhos muito aquém do desejado (figura

27). Por possuir baixo volume vegetal e ter um pequeno diâmetro de copa, essas espécies não conseguem grandes projeções de sombra, tornando-as ineficientes para o sombreamento de vias urbanas. No caso do resedá, outro fator agravante, é a morfologia de sua copa, pois parte do dossel é formado por tufos vegetais e o restante por vários vazios, os quais permitem a passagem direta da radiação.

**Figura 27 – Potencial de Sombreamento (PS) das espécies pesquisadas.**



Já os modelos genéricos fictícios serviram de parâmetro balizador para identificar a partir de qual DAF é interessante ser utilizada para a arborização das vias urbanas. Os modelos genéricos 1 e 2 com DAF correspondente a 2,40 e 4,80 respectivamente, não tiveram bom desempenho na retenção da radiação, diminuindo apenas cerca de 40% no primeiro caso e 60% no segundo. A partir do terceiro modelo (G3/DAF=7,20) que os desempenhos se demonstraram mais viáveis, possuindo um potencial de sombreamento superior aos 70%.

Independente do horário das medições, todos os casos analisados mantiveram a mesma característica de não aumentar ou diminuir seu potencial de sombreamento no decorrer do dia, enfatizando os estudos anteriores que demonstram que a estrutura do dossel mantém a mesma taxa de retenção de radiação naquele período sazonal.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apenas iniciou uma discussão sobre o potencial de sombreamento das copas arbóreas para as vias urbanas, utilizando-se do ENVI-Met para as simulações da interação da vegetação com o ambiente construído.

Tal discussão torna-se necessária, uma vez que, ainda existe a utilização sem critérios da arborização nas vias da cidade. O emprego de espécies inadequadas, além de prejudicar a infraestrutura urbana, tampouco contribui para a mitigação das temperaturas nos ambientes construídos. Por isto, o sombreamento proporcionado pelas árvores no ambiente construído deveria ser um item obrigatório no planejamento de nossas cidades, tendo em vista os vastos benefícios já comprovados oriundos das áreas vegetadas.

O método de classificar o potencial de sombreamento dos indivíduos arbóreos através das faixas de redução de radiação mostrou-se bastante eficaz, principalmente, para demonstrar quais são as densidades que melhor desempenham este papel. Os resultados das simulações, assim como das medições realizadas em campo, enfatizaram que as espécies com DAFs inferiores a aproximadamente  $3,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$  não são capazes de reduzir nem 50% da radiação solar direta incidente sobre as copas. Enquadradas neste grupo estão as falsas-murtas (*Murraya paniculata*) e os resedás (*Lagerstroemia indica*), espécies que são muito utilizadas na arborização das vias das cidades brasileiras, inclusive no município de Bauru (SP).

A vantagem do emprego deste método, de avaliação do sombreamento por comparação de densidade de área foliar é a não utilização do ENVI-Met para análise do desempenho do potencial de sombreamento das árvores, pois o uso deste programa requer conhecimentos sobre microclimatologia, dificultando o seu manuseio por pessoas fora do ambiente acadêmico. Já a desvantagem aparece quando comparam-se os resultados das DAFs com as medições de espécies que contém a morfologia do dossel formada por cachos, pois sob a copa destas árvores não existe um padrão mediano de sombra, uma vez que a radiação solar direta incidente sobre o indivíduo acaba passando pelos vazios vegetais.

As ferramentas disponíveis no NUCAM definiram o método utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa, pois com apenas a possibilidade da utilização da máquina digital com a lente grande angular, o estudo restringiu-se ao método indireto, por intermédio de fotos hemisféricas. Com isto, limitou-se também a utilização do *software* para o processamento das informações, tendo em vista a necessidade de utilização de um programa de livre acesso.

O processo de calibração da lente grande angular no *software* CAN-EYE é bastante complexo, envolvendo várias etapas, sendo preciso, inclusive utilizar outras fontes de pesquisa além do próprio manual para a realização dos procedimentos.

A inserção e simulação de novos parâmetros no ENVI-Met, contendo os dados da vegetação existente no centro-oeste-paulista, ocorreu sem nenhum problema, demonstrando a viabilidade da inclusão de novas espécies no programa. Entretanto, a descrição correta dos dados de entrada que são inseridos para simulação no programa são essenciais para o êxito dos resultados, uma vez que o ENVI-Met simula as interações dos cenários criados de acordo com os valores que lhe são atribuídos.

Devido a fenologia das espécies arbóreas no decorrer das estações anuais, novas pesquisas devem ser realizadas para avaliar o desempenho térmico da vegetação nas demais épocas do ano, assim como, o estudo do potencial de sombreamento de outras espécies que estão presentes nas vias urbanas.

Assim, a promoção de novas pesquisas que contribuam para a identificação de quais espécies são mais adequadas para serem inseridas na arborização viária, devem ser sempre incentivadas com o intuito de cooperar como planejamento urbano, e o beneficiamento do conforto térmico no ambiente construído.



**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Loyde Vieira de; LABAKI, Lucila Chebel. Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.103-117, out./dez. 2010.

ANDRADE, Henrique. O clima urbano: Natureza, escalas de análises e aplicabilidade. **Finisterra: Revista Portuguesa de geografia**. Lisboa, v. 40, n. 80, p.67-91, jan. 2005.

ASSIS, Eleonora S.; SIRQUEIRA, Camila A.; BAMBERG, Angelina M. Influência da vegetação no microclima em ambiente de simulado controlado. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: S.n., 2013. p. 565 – 574.

BARBIRATO, Gianna Melo; SOUZA, Lea Cristina Lucas; TORRES, Simone Carnaúba. **Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos**. Maceió: EDUFAL, 2007. 164 p. :il.

BARBIRATO, Gianna Melo; TORRES, Simone Carnaúba; SOUZA, Lea Cristina Lucas. Procel Edifica. **Clima Urbano e Eficiência Energética nas Edificações**. Rio de Janeiro: Procel, 2011. 113 p. :il.

BAURU. Secretaria Municipal do Meio Ambiente: **Espécies adequadas para a arborização urbana**. Bauru, 2015.

BEHERA, S. K; SRIVASTAVA, P.; PATHER, U. V.; TULI, R. An indirect method of estimating leaf area index in *Jatropha curcas* L. using LAI-2000 Plant Canopy Analyzer. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 2, p. 307-311, 2010.

BRÉDA, Nathalie J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal Of Experimental Botany**. Lancaster, p. 2403-2417. jul. 2003. Disponível em: <<http://jxb.oxfordjournals.org/>>. Acesso em: 9 dez. 2013.

BRUSE, Michael; FLEER, Heribert. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Elsevier: Environmental Modelling & Software**, Leuven, v. 13, p.373-384, mar. 1998.

BRUSE, Michael. **ENVI-met: User's guide for version 2.5**. Mainz: Research&developmen; 2000. 37 p.

CARDIM, Ricardo. **Política do verde urbano: entrevista para site de direito ambiental**. Revista Observatório Eco. Nov. 2011.

CARLSON, Toby N.; RIPLEY, David A. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. **Remote sensing of Environment**, v. 62, n. 3, p. 241-252, 1997. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425797001041>>. Acesso em: 11 dez. 2015.

CARNEIRO, Daniel Porto Queiroz; GENARO, Helio F. G.; MIYASATO, Hugo Heidy; MARTINS, Renato José. Ilhas de calor no campus da UNICAMP. **Revista Ciências do Ambiente On-line**, Campinas, v. 3, n. 2, p.43-48, jul. 2007. Semestral. Disponível em: <<http://www2.ib.unicamp.br/revista/be310/index.php/be310/article/view/104/0>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

CAVASSAN, Osmar. Bauru: Terra de Cerrado ou Floresta? **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 17, n. 17, p.46-54, jan. 2013. Bimestral. Disponível em: <[http://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXVII\\_1/agb\\_xvii1\\_versao\\_internet/agb\\_03\\_jandez2013.pdf](http://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/anoXVII_1/agb_xvii1_versao_internet/agb_03_jandez2013.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2015.

CHEN, Jing M; GOVIND, A.; SONNENTAG, O.; ZHANG, Y.; BARR, A.; AMIRO, B. Leaf area index measurements at Fluxnet-Canada forest sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 140, n. 1, p. 257-268, 2006. Disponível em: <<http://faculty.geog.utoronto.ca/Chen/Chen's%20homepage/PDFfiles2/AFM-Chen-2006-proof.pdf>>. Acesso em: 11 dez. 2015.

CHICAGO. **Chicago's Urban Forest Agenda**. 2009. Disponível em: <[http://www.cityofchicago.org/dam/city/depts/doe/general/NaturalResourcesAndWaterConservation\\_PDFs/UrbanForestAgenda/ChicagosUrbanForestAgenda2009.pdf](http://www.cityofchicago.org/dam/city/depts/doe/general/NaturalResourcesAndWaterConservation_PDFs/UrbanForestAgenda/ChicagosUrbanForestAgenda2009.pdf)>. Acesso em 02 dez. 2013

CHICAGO. **Chicago climate action plan: Our city, our future**. 2010. Disponível em: <<http://www.chicagoclimatereaction.org/filebin/pdf/finalreport/CCAPREPORTFINA Lv2.pdf>>. Acesso em 02 dez. 2013.

COMPANHIA DE ENERGIA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Manual de arborização**. Belo Horizonte: Cemig/Fundação Biodiversitas, 2011. 112 p. Recife, 2013. 71p. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/sites/imprensa/pt-br/Documents/Manual\\_Arborizacao\\_Cemig\\_Biodiversitas.pdf](http://www.cemig.com.br/sites/imprensa/pt-br/Documents/Manual_Arborizacao_Cemig_Biodiversitas.pdf)>. Acesso em: 07 jan. 2016.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ - CPFL Energia. **Arborização urbana viária: aspectos de planejamento, implantação e manejo**. Campinas: CPFL Energia, 2008. 120 p. Disponível em: < <http://www.sunnet.com.br/biblioteca/livros-e-textos/arborizacao-urbana-viaria-cpfl.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2016.

COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. .il.

CUTINI, Andrea; MATTEUCCI, Giorgio; MUGNOZZA, Giuseppe Scarascia. Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. **Forest Ecology and Management**, v. 105, n. 1, p. 55-65, 1998.



DEMAREZ, V.; DUTHOIT, S.; BARET, F.; WEISS, M.; DEDIEU, G. Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 4, p. 644-655, 2008.

FONTANA, Denise Regina Maurício. **Avaliação da arborização urbana de um Bairro Popular no município de Bauru**: Estudo de caso. 2008. 37 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Biológicas, Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Manual de arborização: procedimentos técnicos para plantio, transplante, poda e corte**. Fortaleza, 2013. 37 p.. Disponível em: <[http://www.fortaleza.ce.gov.br/sites/default/files/manualarborizacaonovo\\_0.pdf](http://www.fortaleza.ce.gov.br/sites/default/files/manualarborizacaonovo_0.pdf)>. Acesso em: 07 jan. 2016.

GALVÃO, Jessica; MARTINS, Marcília; BRITO, Jacqueline. Análise da compatibilização da arborização com os equipamentos urbanos no centro de Timon - MA. In: IV CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE E NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 4, 2009, Belém. **Anais...** Belém: LI, 2009. p. 1 - 9.

GERBASI, M. B.; LUQUESE, F. O.; FASSIO, R. C.; DOMINQUINI, R.; PIRES, E. F.; FONTES, M. S. G. C. Diagnóstico da arborização de vias públicas de um bairro da cidade de Bauru, SP, Brasil: Adequabilidade em função do porte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 18, 2014, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2014. p. 1 - 14.

GOWER, Stith T.; KUCHARIK, Chris J.; NORMAN, John M. Direct and indirect estimation of leaf area index, f APAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. **Remote sensing of environment**, v. 70, n. 1, p. 29-51, 1999.

HIGUERAS, Ester. **Urbanismo bioclimático**. Barcelona: Gustavo Gili, 2006. 241 p. :il.

IZARD, Jean-Louis; GUYOT, Alain. **Arquitetura bioclimática**. Barcelona: Gustavo Gili, 1980. 191 p. :il.

JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and forest meteorology**, v. 121, n. 1, p. 19-35, 2004.

LALIC, Branislava; MIHAJLOVIC, Dragutin T. An Empirical Relation Describing Leaf-Area Density inside the Forest for Environmental Modeling. **Journal of Applied Meteorology**. Boston, p. 641-645. abr. 2004.

LAERA, Luiza Helena Nunes. Arborização urbana: Valorização dos custos e benefícios ambientais. In: ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 4, 2005,

Brasília. **Anais...** Brasília, 2005. p. 1 - 23. Disponível em: <[http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vi\\_en/artigos/mesa3/arborizacao\\_urbana\\_valoracao.pdf](http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vi_en/artigos/mesa3/arborizacao_urbana_valoracao.pdf)>. Acesso em: 01 maio 2013.

LEE, Hyunjung; HOLST, Jutta; MAYER, Helmut. Modification of Human-Biometeorologically Significant Radiant Flux Densities by Shading as Local Method to Mitigate Heat Stress in Summer within Urban Street Canyons. **Hindawi: Advances in Meteorology**, Cairo, v. 2013, n. 1, p.1-14, jun. 2013.

LIGETI, Eva. **Climate change adaptations for Toronto's urban forest**. Toronto: Clear Air Partnership, 2007. 27 p. Disponível em: <[http://www.cleanairpartnership.org/pdf/climate\\_change\\_adaptation.pdf](http://www.cleanairpartnership.org/pdf/climate_change_adaptation.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2013.

MALAMUT, Marcos. **Paisagismo: Projetando espaços livres**. Lauro de Freitas: Livro.com, n. 1, 2011. 148 p. :il.

MASCARÓ, Lucia; MASCARÓ, Juan Luis. **Vegetação Urbana**. Porto Alegre: Masquatro, n. 3, 2010. 212 p. :il.

MAYER, Helmut; KUPPE, Stefanie; HOLST, Jutta; IMBERY, Florian; MATZARAKIS, Andreas. Human thermal comfort below the canopy of street trees on a typical Center European summer day. **Meteorology Institute University**. Freiburg, p. 211-219. jan. 2009. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/228503675\\_Human\\_thermal\\_comfort\\_below\\_the\\_canopy\\_of\\_street\\_trees\\_on\\_a\\_typical\\_Central\\_Europea\\_n\\_summer\\_day/file/d912f5072b20905674.pdf](http://www.researchgate.net/publication/228503675_Human_thermal_comfort_below_the_canopy_of_street_trees_on_a_typical_Central_Europea_n_summer_day/file/d912f5072b20905674.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2013.

McPHERSON, E. Gregory; NOWAK, David J.; ROWNTREE, Rowan A. **Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 2010. 210 p. Disponível em: <<http://www.csu.edu/cerc/documents/ChicagosUrbanForestEcosystem-ResultsoftheChicagoUrbanForestClimateProject.pdf>>. Acesso em 02 dez. 2013.

MEIR, Patrick; GRACE, John; MIRANDA, Antonio C. Photographic method to measure the vertical distribution of leaf area density in forests. **Agricultural and Forest Meteorology**. p. 105-111. fev. 2010.

MENDES, Flávio Henrique. **Tutorial para iniciantes: software ENVI-met versão 3.1**. Piracicaba: Esalq, 2014. 60 p. Disponível em: <[http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:projetos:envi-met31\\_tutorial\\_iniciantes.pdf](http://cmq.esalq.usp.br/wiki/lib/exe/fetch.php?media=publico:projetos:envi-met31_tutorial_iniciantes.pdf)>. Acesso em: 07 jun. 2014

MEUNIER, Isabelle. Como começar a arborizar as pessoas. **Revista Continente On-line**, Santo Amaro, v. 1, n. 152, p.1-3, 2 set. 2013.

MINHOTO, E. S.; MONTEIRO, Evoni A.; FISCH, Simey T. V. **Arborização viária na cidade de Taubaté, SP: no centro comercial histórico e um bairro residencial moderno**. REVSBAU: Piracicaba, v.4, n.2, p.82-96. 2009

NAKATA, Camila Mayumi; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; FARIA, João Roberto Gomes de. Simulação do conforto térmico do pedestre no ambiente urbano. **Ação Ergonômica**, v. 5, n. 2, p.1-9, nov. 2010.

NATAL. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Manual de arborização urbana de Natal**. Natal: SEM. URB, 2009. 28 p. Disponível em: <<http://www.natal.rn.gov.br/semurb>>. Acesso em: 07 jan. 2016.

NIEMEYER, Carlos Augusto da Costa. **Paisagismo no planejamento arquitetônico**. Uberlândia: Edufu, 2005. 127 p. :il.

NOWAK, D. J.; HOEHN, R. E. III; CRANE, D. E.; STEVENS, J. C.; FISHER, C. L. **Assessing urban forest effects and values, Chicago's urban forest**. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 2010. Resource Bulletin NRS-37. Disponível em: <<http://www.itreetools.org/resources/reports/Chicago's%20Urban%20Forest.pdf>>. Acesso em 02 dez. 2013.

PALME, Massimo; ORDENES, Martín. Análisis de las condiciones de ventilación dentro del contexto urbano para la Avenida Brasil em Antofagasta. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2013, Brasília. **Anais...** Búzios: 2013. p. 1791 – 1805

PEZZUTO, Claudia C.; DACANAL, Crisitane; MELO, Eduardo O.; LABALI, Lucila C. Análises do microclima urbano através de medições experimentais e simulações no programa Envi-met. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10. 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: 2011. p. 1 – 10

RECIFE. Prefeitura Municipal. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SMAS. **Manual de arborização urbana: orientações e procedimentos técnicos para implantação e manutenção da arborização na cidade do Recife**. 1 ed. Recife, 2013. 71p. Disponível em: <[http://www2.recife.pe.gov.br/wp-content/uploads/Manual\\_Arborizacao.pdf](http://www2.recife.pe.gov.br/wp-content/uploads/Manual_Arborizacao.pdf)>. Acesso em: 07 jan. 2016.

RIO DE JANEIRO. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Plano diretor de arborização urbana da cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2015. 416 p. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/5560381/4146113/PDAUtotal5.pdf>>. Acesso em: 07 jan. 2016.

ROCHA, Luciani M. V.; SOUZA, Lea C. L.; CASTILHO, Francisco J. V. Ocupação do solo e ilha de calor noturna em avenidas marginais a um córrego urbano. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 161-175, jul./set. 2011.

ROGERS, Richard; GUMUCHDJIAN, Philip. **Cidades para um pequeno planeta**. Barcelona: Gustavo Gili, 2001. 180 p. :il.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. 226 p. :il.

ROMERO, Marta Adriana Bustos; SILVA, Caio Frederico e; BURGOS, Lorena; PAZOS, Valmor. **Curso de extensão ENVI-met: Modelagem tridimensional aplicada à análise urbana**. Brasília: Unb, 2009. 68 p.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente: **Manual técnico de arborização urbana**. 3 ed. São Paulo, 2015. 122 p. Disponível em: <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio\\_ambiente/publicacoes\\_svma/index.php?p=188452](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/publicacoes_svma/index.php?p=188452)>. Acesso em: 10 out. 2015.

SHAMS. Juliana C. A.; GIACOMELI, Danieli C.; SUCUMINE, Nivia M. Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos. **Journal of Brazilian Society of Urban Forest**, Piracicaba, v.4, n.4, p.1-16, dez. 2009.

SHINZATO, Paula; DUARTE, Denise H.; BARROS, Fernanda; MOREIRA, Denise. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos: estimativa do índice de área foliar em diferentes grupos arbóreos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: 2013. p. 443 – 451.

SHINZATO, Paula. **O impacto da vegetação nos microclimas urbanos em função das interações solo-vegetação-atmosfera**. 2014. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SOUZA, Viviane Raquel Denadai; FARIA, João Roberto Gomes de. Problemas associados a extrapolação de informações espaciais e temporais no uso do programa Envi-met. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: 2011. p. 1 – 10.

SPANGENBERG, Jorg; SHINZATO, Paula; JOHANSSON, Erik; DUARTE, Denise. **Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo**. **Journal of Brazilian Society of Urban Forest**, Piracicaba, v.3, n.2, p. 1-19, jun. 2008.

VAN GARDINGEN, P. R.; JACKSON, G. E.; HERNANDEZ-DAUMAS, S.; RUSSELL, G.; SHARP, L. Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 94, n. 3, p. 243-257, 1999.

WEISS, M.; BARET, F. **CAN-EYE V6.313 user manual**. Saint-paul: Inra - Science & Impact, 2010. 47 p. Disponível em: <<http://www6.paca.inra.fr/can-eye/Documentation-Publications/Documentation>>. Acesso em: 01 fev. 2015.




YU, Chen; HIEN, Wong Nyuk. Thermal benefits of city parks. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.38, n.2, p. 105-120. fev. 2006.

ZHANG, Yongqin; CHEN, Jing M.; MILLER, John R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 133, n. 1, p. 166-181, 2005.



**APÊNDICES**

## APÊNDICES

FICHA CATALOGRÁFICA - FALSA-MURTA		COD.: FM	
 <p>FM1</p>		 <p>FM2</p>	
		 <p>FM3</p>	
Nome Popular:	Falsa-murta, Murta, Murta-de-cheiro, Jasmim-laranja, Murta-da-índia		
Nome Científico:	<i>Murraya Paniculata</i>		
Epoca de Floração:	De outubro a janeiro		
Ciclo:	Perene		
Forma da Copa (Estilo):	Elíptica horizontal		
Forma do Tronco (Estilo):	Ramificado		
Nº de Identificação:	FM1		
Endereço (Localização da árvore):	Rua Vangélio Mondelli, Qt. 03		
Altura (Aproximada):	2,5 metros		
Diâmetro da Copa:	3,0 metros		
Diâmetro do Tronco (DAP):	20 cm		
Nº de Identificação:	FM2		
Endereço (Localização da árvore):	Alameda dos Heliotrópos, Qt. 04		
Altura (Aproximada):	3,0 metros		
Diâmetro da Copa:	3,5 metros		
Diâmetro do Tronco (DAP):	20 cm		
Nº de Identificação:	FM3		
Endereço (Localização da árvore):	Rua São Paulo, Qt. 02		
Altura (Aproximada):	2,5 metros		
Diâmetro da Copa:	3,0 metros		
Diâmetro do Tronco (DAP):	15 cm		



<b>Nome Popular:</b>	Oiti, Goiti, Oitizeiro, Oiti-da-prata, Manga-da-praia, Guiti, Uiti
<b>Nome Científico:</b>	<i>Licania tomentosa</i>
<b>Epoca de Floração:</b>	Inverno
<b>Ciclo:</b>	Perene
<b>Forma da Copa (Estilo):</b>	Globosa
<b>Forma do Tronco (Estilo):</b>	Fuste único

<b>Nº de Identificação:</b>	OI1
<b>Endereço (Localização da árvore):</b>	Av. Edmundo Carrijo Coube, s/n (Estacionamento Laboratórios FAAC)
<b>Altura (Aproximada):</b>	4,5 metros
<b>Diâmetro da Copa:</b>	4,0 metros
<b>Diâmetro do Tronco (DAP):</b>	25cm

<b>Nº de Identificação:</b>	OI2
<b>Endereço (Localização da árvore):</b>	Av. Edmundo Carrijo Coube, s/n (Estacionamento Laboratórios FAAC)
<b>Altura (Aproximada):</b>	5,0 metros
<b>Diâmetro da Copa:</b>	6,0 metros
<b>Diâmetro do Tronco (DAP):</b>	35 cm

<b>Nº de Identificação:</b>	OI3
<b>Endereço (Localização da árvore):</b>	Av. Edmundo Carrijo Coube, s/n (Estacionamento Laboratórios FAAC)
<b>Altura (Aproximada):</b>	5,0 metros
<b>Diâmetro da Copa:</b>	6,0 metros
<b>Diâmetro do Tronco (DAP):</b>	30 cm





Nome Popular:	Quaresmeira, Flor-de-quaresma
Nome Científico:	<i>Tibouchina granulosa</i>
Epoca de Floração:	Outono e Inverno
Ciclo:	Perene
Forma da Copa (Estilo):	Globosa
Forma do Tronco (Estilo):	Fuste único

Nº de Identificação:	QR1
Endereço (Localização da árvore):	Rua João Batista Garcia Filho, Qt. 03
Altura (Aproximada):	6,0 metros
Diâmetro da Copa:	7,0 metros
Diâmetro do Tronco (DAP):	45cm

Nº de Identificação:	QR2
Endereço (Localização da árvore):	Rua João Batista Garcia Filho, Qt. 03
Altura (Aproximada):	6,0 metros
Diâmetro da Copa:	9,0 metros
Diâmetro do Tronco (DAP):	60 cm

Nº de Identificação:	QR3
Endereço (Localização da árvore):	Rua Antônio Xavier de Medonça, Qt. 08
Altura (Aproximada):	5,5 metros
Diâmetro da Copa:	8,0 metros
Diâmetro do Tronco (DAP):	40 cm



Nome Popular:	Resedá, Árvore-de-júpiter, Extremosa, Suspiros
Nome Científico:	<i>Lagerstroemia indica</i>
Época de Floração:	Primavera e Verão
Ciclo:	Perene
Forma da Copa (Estilo):	Irregular
Forma do Tronco (Estilo):	Fuste único

Nº de Identificação:	RS1
Endereço (Localização da árvore):	Avenida Edmundo Carrijo Coube, Qt. 04
Altura (Aproximada):	5,5 metros
Diâmetro da Copa:	4,6 metros
Diâmetro do Tronco (DAP):	12 cm

Nº de Identificação:	RS2
Endereço (Localização da árvore):	Avenida Edmundo Carrijo Coube, Qt. 04
Altura (Aproximada):	5,0 metros
Diâmetro da Copa:	4,2 metros
Diâmetro do Tronco (DAP):	06 cm

Nº de Identificação:	RS3
Endereço (Localização da árvore):	Avenida Edmundo Carrijo Coube, Qt. 04
Altura (Aproximada):	4,5 metros
Diâmetro da Copa:	4,8 metros
Diâmetro do Tronco (DAP):	06 cm



**ANEXOS**

## ANEXOS

### Tabelas de vegetação arbórea presente no município de Bauru/SP

**Tabela 05 - Espécies adequadas para a arborização indicadas pela SEMMA.**

<b>Nas calçadas que dão suporte a rede elétrica deverão ser plantadas mudas de pequeno porte:</b>
<b>Sugestão:</b> caqui do cerrado ( <i>Diospyros hispida</i> ); cerejeira do rio grande ( <i>Eugenia involucrata</i> ); tamanqueiro ( <i>Byrsonima intermedia</i> ); astrapéia ( <i>Dombeya wallichii</i> ); acerola ( <i>Malpighia glabra</i> ); araçá ( <i>Psidium cattleianum</i> ); grevilha anã ( <i>Grevillea banksii</i> ); cambuí ( <i>Myrciaria tenella</i> ); callicarpa ( <i>Callicarpa reevesii</i> ); pitanga ( <i>Eugenia uniflora</i> ); mulungu do litoral ( <i>Erythrina speciosa</i> ); neve da montanha ( <i>Euphorbia leucocephala</i> ); urucum ( <i>Bixa orellana</i> ); flamboyant mirim ( <i>Caesalpinia pulcherrima</i> ); escova de garrafa ( <i>Callistemon sp.</i> ); siraricito ( <i>Cojoba sophorocarpa</i> ); nêspera ( <i>Eriobotrya japonica</i> ); calabura ( <i>Muntingia calabura</i> ); ipê branco ( <i>Tabebuia rosea-alba</i> ); Calliandra ( <i>Calliandra houstoniana</i> ); jabuticaba ( <i>Myrciaria cauliflora</i> ); uvaia ( <i>Eugenia pyriformis</i> ); Amora ( <i>Morus nigra</i> ); Jambo branco ( <i>Syzygium aqueum</i> ); Pau-santo ( <i>Kielmeyera coriácea</i> ); Folha de Serra ( <i>Ourateas spectabilis</i> ); Romã ( <i>Punica granatum</i> ); Cerejeira ( <i>Prunus campanulata</i> ); Pequeno Barbatimão ( <i>Stryphnodendron adstringens</i> , <i>S. polyphyllum</i> ); Cerejeira ornamental ( <i>Prunus serrulata</i> ); Gabiroba ( <i>Campomanesia xanthocarpa</i> ).
<b>Nas calçadas opostas a rede elétrica ou possuírem fiação compacta deverão ser plantadas mudas de médio porte:</b>
<b>Sugestão:</b> jacarandá mimoso ( <i>Jacaranda mimosifolia</i> ), quaresmeira ( <i>Tibouchina granulosa</i> ), pata-de-vaca ( <i>Bauhinia sp</i> ), louro pardo ( <i>Cordia trichotoma</i> ); alecrim de campinas ( <i>Holocalyx balansae</i> ); pau terra ( <i>Qualea grandiflora</i> ; <i>Qualea parviflora</i> ); amendoim falso ( <i>Acosmium subelegans</i> ); caviuna do cerrado ( <i>Dalbergia miscolobium</i> ); amendoim do campo ( <i>Platypodium elegans</i> ), bico de pato ( <i>Machaerium aculeatum</i> ); barbatimão ( <i>Stryphnodendron rotundifolium</i> ), candeia ( <i>Piptocarpha rotundifolia</i> ); falso barbatimão ( <i>Dimorphandra mollis</i> ); jacarandá do campo ( <i>Machaerium acutifolium</i> ); aldrago ( <i>Pterocarpus violaceus</i> ), olho de dragão ( <i>Adenantha pavonina</i> ), pequi ( <i>Caryocar brasiliense</i> ), aroeira pimenteira ( <i>Schinus terebinthifolia</i> ), sibipiruna ( <i>Caesalpinia pluviosa</i> ), chuva de ouro ( <i>Cassia fistula</i> ), pau Brasil ( <i>Caesalpinia echinata</i> ), ipê amarelo do cerrado ( <i>Tabebuia aurea</i> ); ipê amarelo ( <i>Tabebuia chrysotricha</i> ), grumixama ( <i>Eugenia brasiliensis</i> ), magnólia branca ( <i>Magnolia grandiflora</i> ), magnólia amarela ( <i>Michelia champaca</i> ), amendoineiro ( <i>Platypodium elegans</i> ), fedegoso ( <i>Senna macranthera</i> ), cabreúva ( <i>Myroxylon peruiferum</i> ), lofantera da amazônia ( <i>Lophanthera lactescens</i> ), tipuana ( <i>Tipuana tipu</i> ), resedá gigante ( <i>Lagerstroemia speciosa</i> ), acácia mimosa ( <i>Acacia podalyraefoli</i> ), dedaleiro ( <i>Lafoesia pacari</i> ), tamanqueira ( <i>Pera glabrata</i> ), mirindiba rosa ( <i>Lafoesia glyptocarpa</i> ), melaleuca ( <i>Melaleuca alternifolia</i> ); Mulungu – Coral ( <i>Erythrina verna</i> ), Quereutéria ( <i>Koelreuteria paniculata</i> ), Tamarindo ( <i>Tamarindus indica</i> ), Albizia ( <i>Albizia lebbek</i> ), Chapéu de Sol ( <i>Terminalia catappa</i> ), Alfeneiro ( <i>Ligustrum lucidum</i> ), Saboneteira ( <i>Sapindus saponaria</i> ), Jambo Amarelo ( <i>Syzygium jambos</i> ), Oliveira ( <i>olea europaea</i> ), Amarelinho ( <i>Plathymenia reticulata</i> ), Cedro ( <i>Cedrela fissilis</i> ), Jenipapo ( <i>Genipa americana</i> ), Cambuci ( <i>Campomanesia phaea</i> ), Ipê Felpudo ( <i>Zeyheria tuberculosa</i> ).

Fonte: BAURU, 2015.

**Tabela 06 - Espécies encontradas no bairro Nova Bauru.**

Nome Comum	Nome Científico	Nº ind.	f(%)
Oiti	<i>Licania tomentosa</i>	303	83,93
Falsa murta	<i>Murraya paniculata</i>	81	12,83
Fícus	<i>Ficus benjamina</i>	72	11,41
Não identificada		36	5,7
Magnólia	<i>Michelia champaca</i>	35	5,55
Chorão	<i>Salix babylonica</i>	26	4,12
Resedá	<i>Lagerstroemia indica</i>	19	3
Quaresmeira	<i>Tibouchina granulosa</i>	14	2,22
Ipê	<i>Tabebuia sp</i>	12	1,9
Espirradeira	<i>Nerium oleander</i>	11	1,74
Mini-flamboyant	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	5	0,8
Árvore-guarda-chuva	<i>Schefflera actinophylla</i>	4	0,63
Chapeu-de-napoleão	<i>Thevetia thevetioides</i>	3	0,47
Alfeneiro-da-china	<i>Ligustrum lucidum</i>	2	0,32
		2	0,32
Pata-de-vaca	<i>Bauhinia sp</i>	2	0,32
Cacau falso	<i>Pachira aquática</i>	1	0,16
Espatódea	<i>Spathodea nilótica</i>	1	0,16
Ipê-de-jardim	<i>Tecoma stans</i>	1	0,16
Mangueira	<i>Mangifera indica</i>	1	0,16
Total		631	

Fonte: FONTANA (2008), p. 12.

**Tabela 07** - Espécies de maior frequência nas vias públicas do Bairro Jardim Panorama, na cidade de Bauru, SP.

Nome popular	Nome científico	Família	Porte	Quant.	Freq.(%)
Oiti	<i>Licania tomentosa</i>	Chrysobalanaceae	Médio	167	29,14%
Resedá	<i>Lagerstroemia indica</i>	Lythraceae	Pequeno	63	10,99%
Falsa-murta	<i>Murraya paniculata</i>	Rutaceae	Pequeno	50	8,73%
Quaresmeira	<i>Tibouchina granulosa</i>	Melastomataceae	Médio	60	10,47%
Salgueiro chorão	<i>Salix x pendulina</i>	Salicaceae	Médio	27	4,71%
Sibipiruna	<i>Caesalpinia peltophoroides</i> <i>Nectandra</i>	Fabaceae	Grande	19	3,32%
Canelinha	<i>megapotamica</i>	Lauraceae	Médio	14	2,44%
Escova de garrafa	<i>Callistemon spp</i>	Myrtaceae	Pequeno	9	1,57%
Munguba/ cacau selvagem	<i>Pachira aquatica</i>	Bombacaceae	Grande	8	1,40%
Jerivá	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	Arecaceae	Grande	8	1,40%
Chapéu de sol	<i>Terminalia catappa</i>	Combretaceae	Grande	8	1,40%
Pata de vaca	<i>Bauhinia blakeana</i>	Fabaceae	Médio	8	1,40%
Flamboyant	<i>Delonix regia</i> <i>Nectandra</i>	Fabaceae	Grande	7	1,22%
Canela branca	<i>membranacea</i>	Lauraceae	Grande	7	1,22%
Ipê branco	<i>Tabebuia roseo-alba</i>	Bignoniaceae	Grande	7	1,22%
Língua de sogra	<i>Albizia lebeck</i> <i>Podocarpus</i>	Leguminosae	Médio	5	0,87%
Pinheiro de buda	<i>macrophyllus</i> <i>Caesalpinia</i>	Podocarpaceae	Médio	5	0,87%
Flamboyanzinho	<i>pulcherrima</i>	Fabaceae	Pequeno	4	0,70%
Falso barbatimão	<i>Cassia leptophylla</i> <i>Mussaenda</i>	Leguminosae	Médio	3	0,52%
Mussaenda vermelha	<i>erythrophylla</i>	Rubiaceae	Pequeno	3	0,52%
Pingo de ouro	<i>Duranta erecta aurea</i>	Verbenaceae	Pequeno	3	0,52%
Nêspereira	<i>Eriobotrya japonica</i>	Rosaceae	Pequeno	3	0,52%
Mussenda rosa	<i>Mussaenda alicia</i>	Rubiaceae	Pequeno	2	0,35%
Ipê amarelo da selva	<i>Tabebuia alba</i>	Bignoniaceae	Grande	2	0,35%
Ipê roxo	<i>Tabebuia avellanadae</i>	Bignoniaceae	Grande	2	0,35%
Espirradeira	<i>Nerium oleander</i>	Apocynaceae	Pequeno	2	0,35%
Tília americana	<i>Tília americana</i>	Tiliaceae	Grande	2	0,35%
Alfarrobeira	<i>Ceratonia siliqua</i>	Fabaceae	Grande	2	0,35%
Árvore guarda-chuva	<i>Schefflera actinophylla</i>	Araliaceae	Médio	1	0,17%
Ipê rosa	<i>Tabebuia heptaphylla</i>	Bignoniaceae	Grande	1	0,17%
Areca bambu	<i>Dyopsis lutescens</i> <i>Spathodea</i>	Arecaceae	Médio	1	0,17%
Tulipeira	<i>campanulata</i> <i>Cupressus</i>	Bignoniaceae	Grande	1	0,17%
Cipreste italiano	<i>sempervirens</i>	Cupressaceae	Grande	1	0,17%
Laranjeira	<i>Citrus sinensis</i>	Rutaceae	Médio	1	0,17%
Acerola	<i>Malpighia emarginata</i> <i>Euphorbia</i>	Malpighiaceae	Pequeno	1	0,17%
Cabeleira de velho	<i>leucocephala</i>	Euphorbiaceae	Pequeno	1	0,17%
Rosa	<i>Rosa x grandiflora</i>	Rosaceae	Pequeno	1	0,17%
Alfeneiro	<i>Ligustrum lucidum</i>	Oleaceae	Médio	1	0,17%
Hibisco	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	Malvaceae	Pequeno	1	0,17%
Chuva de ouro	<i>Cassia fistula</i>	Fabaceae	Médio	1	0,17%
Mamoeiro	<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	Médio	1	0,17%
Espécie não reconhecida				60	10,47%
<b>Total</b>				<b>573</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: GERBASI, et. al. (2014), p. 8.