



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

JOSEANE PIVETTA

**INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS PAISAGÍSTICOS NO  
DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÃO TÉRREA**

---

Londrina  
2010

JOSEANE PIVETTA

**INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS PAISAGÍSTICOS NO  
DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÃO TÉRREA**

Dissertação submetida à Universidade Estadual de Londrina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Miriam Jerônimo Barbosa

Londrina  
2010

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da  
Universidade Estadual de Londrina.**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

P693i Pivetta, Joseane.

Influência de elementos paisagísticos no desempenho térmico de  
edificação térrea / Joseane Piveta. – Londrina, 2010.  
69 f. : il.

Orientador: Mirian Jerônimo Barbosa.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e  
Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia  
e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações  
e Saneamento, 2010.

Inclui bibliografia.

1. Habitações - Conforto térmico - Engenharia – Teses. 2. Paisagismo -  
Equilíbrio térmico - Engenharia – Teses. 3. Plantas - Efeito da sombra. –  
Teses. I. Barbosa, Mirian Jerônimo. II. Universidade Estadual de Londrina.  
Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Edificações e Saneamento. III. Título.


CDU 697:728.1

JOSEANE PVETTA

**INFLUÊNCIA DE ELEMENTOS PAISAGÍSTICOS NO DESEMPENHO  
TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES TÉRREAS**

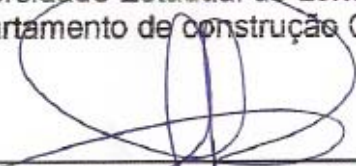
Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dra Miriam Jerônimo Barbosa  
Universidade Estadual de Londrina  
Departamento de construção Civil - UEL



---

Prof. Doutor Paulo Fernando Soares  
Universidade Estadual de Maringá  
Departamento de Engenharia Civil



---

Prof. Doutor César Imai  
Universidade Estadual de Londrina  
Departamento de Arquitetura e  
Urbanismo

Londrina, 12 de abril de 2010.

*Para meu marido Cleber e minha filha Luiza.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela "força" nos momentos difíceis. A minha pequena grande família, Cleber e Luiza, pelo amor e apoio incondicional, razão de cada segundo de minha existência. Ao meu marido Cleber pela compreensão, motivação em todas as etapas do trabalho e pelo incentivo em seguir em frente. A minha orientadora, Miriam J. Barbosa, pelo apoio, dedicação, paciência e competência na orientação desta dissertação. A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização e finalização deste trabalho.

PIVETTA, Joseane. **Influência de Elementos Paisagísticos no Desempenho Térmico de Edificação Térrea**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina.

## RESUMO

Este trabalho propõe-se a desenvolver uma metodologia para integrar elementos paisagísticos com o objetivo de melhorar o desempenho térmico de edificações térreas. São analisadas três espécies arbóreas (*Schinus molle*, *Bauhinia variegata* e *Murraya paniculata*) quanto à melhoria do microclima proporcionado à sombra das mesmas. Em primeira etapa, foram realizadas medições dos parâmetros ambientais: temperatura de globo e temperatura de bulbo seco, no interior e exterior das sombras. As medições foram realizadas em uma rua no centro da cidade de Londrina - PR, onde as três espécies se encontram em seqüência próximas uma das outras a uma distância aproximada de 10 metros entre elas. Os resultados serviram de base para adotar uma situação possível como entrada de dados na ferramenta de simulação Energyplus, que foi utilizada para comparar com características e orientações de edificações térreas em situações com e sem sombreamento. A partir dos resultados de temperatura do ar e umidade relativa gerados nas simulações, obtiveram-se dados de conforto e desconforto através do programa Analysis Bio, onde foi possível analisar e comparar resultados de situações com e sem espécies arbóreas próximas da edificação. A partir dos resultados, observou-se que, em geral, as temperaturas do ar no interior da edificação com sombreamento das espécies são menores que na situação sem este elemento. Concluiu-se então que o sombreamento com vegetação pode trazer uma contribuição climática significativa para o interior de ambientes construídos.

**Palavras-chave:** Sombreamento. Espécies arbóreas. Desempenho térmico.

PIVETTA, Joseane. **Influence of elements paisagistics on performance thermal of building earthy**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina.

### ABSTRACT

This paper proposes to develop a methodology to integrate landscape features in order to improve the thermal performance of single-story buildings. It analyzes three tree species (*Schinus molle*, *Bauhinia variegata* e *Murraya paniculata*) in improving the microclimate provided by the shade of the same. In the first phase, we performed measurements of environmental parameters: globe temperature and dry bulb temperature, inside and outside of the shadows. Measurements were performed on a street in the city of Londrina - PR, where the three species are sequentially close to each other at a distance of approximately 10 meters between them. The results were the basis for adopting a position as possible data entry into the simulation tool EnergyPlus, which was used to compare characteristics and orientations of single-story buildings in situations with and without shading. From the results of air temperature and relative humidity generated by the simulations, we obtained data of comfort and discomfort through the Program Analysis Bio, it was possible to analyze and compare results to situations with and without tree species near the building. It was then, observed that, in general, the air temperatures inside the building with shading of the species are lower than the situation without this element. It was concluded that the shading vegetation can bring a significant contribution to the climate within built environments.

**Keywords:** Shading. Tree species. Thermal performance.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> -	Árvore e radiação solar .....	20
<b>Figura 2</b> -	Formas de árvores .....	22
<b>Figura 3</b> -	Efeito do umedecimento do ar por uma área com vegetação.....	25
<b>Figura 4</b> -	Proteção solar de árvore com folhas caducas.....	26
<b>Figura 5</b> -	Resfriamento evaporativo com áreas gramadas ou arborizadas.....	26
<b>Figura 6</b> -	Estrutura do programa Energyplus.....	30
<b>Figura 7</b> -	Aroeira salsa ( <i>Schinus molle</i> ) .....	36
<b>Figura 8</b> -	Pata-de-vaca ( <i>Bauhinia variegata</i> ) .....	37
<b>Figura 9</b> -	Falsa murta ( <i>Murraya paniculata</i> ) .....	38
<b>Figura 10</b> -	Localização das amostras selecionadas para estudo .....	39
<b>Figura 11</b> -	Localização das amostras selecionadas para estudo .....	40
<b>Figura 12</b> -	Termômetro de globo da Instrutherm modelo TGD 200 .....	41
<b>Figura 13</b> -	Termômetro de globo digital da Instrutherm modelo TGD-50 tipo Pt 100.....	41
<b>Figura 14</b> -	Planta Baixa da casa tipo 1.....	44
<b>Figura 15</b> -	Elevação frontal da casa tipo 1.....	45
<b>Figura 16</b> -	Fachada da edificação de tipologia 1 .....	45
<b>Figura 17</b> -	Planta Baixa e Implantação genérica da casa tipo 1.....	47
<b>Figura 18</b> -	Divisões das zonas térmicas.....	49
<b>Figura 19</b> -	Situação Falsa murta .....	51
<b>Figura 20</b> -	Situação Pata de vaca .....	52
<b>Figura 21</b> -	Situação Aroeira salsa .....	52
<b>Figura 22</b> -	Temperatura de globo ( $T_g$ °C) das três espécies arbóreas .....	54
<b>Figura 23</b> -	Temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ °C) das três espécies arbóreas.....	54
<b>Figura 24</b> -	Carta bioclimática do ambiente externo válido como referência para todas as situações .....	57
<b>Figura 25</b> -	Carta bioclimática do ambiente interno referente à situação sem vegetação na face NO. .	58
<b>Figura 26</b> -	Carta bioclimática do ambiente interno referente à situação Falsa murta na face NO .....	58
<b>Figura 27</b> -	Carta bioclimática do ambiente interno referente à situação Aroeira salsa na face NO .....	59

<b>Figura 28</b> - Carta bioclimática do ambiente interno referente à situação Pata de vaca na face NO .....	59
<b>Figura 29</b> - Carta bioclimática do ambiente interno com a situação Sem vegetação na face NE .....	61
<b>Figura 30</b> - Carta bioclimática do ambiente interno com a presença do elemento de sombreamento Falsa murta na face NE .....	61
<b>Figura 31</b> - Carta bioclimática do ambiente interno com a situação Sem vegetação na face NE .....	62
<b>Figura 32</b> - Carta bioclimática do ambiente interno com a presença do elemento de sombreamento Pata de vaca na face NE.....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Espécies arbóreas mais utilizadas pela AMA - Londrina / PR.....	34
<b>Tabela 2</b> - Resultado de aferição dos termômetros de globo utilizados na coleta de dados.....	42
<b>Tabela 3</b> - Temperaturas de globo (TG) e bulbo seco (TBS) das três espécies arbóreas em °C.....	53
<b>Tabela 4</b> - Relatório de saída do Analysis Bio: simulação dados horários (%) para a face NO.....	56
<b>Tabela 5</b> - Relatório de saída do Analysis Bio: dados horários (%) do ambiente interno para a face NE.....	60
<b>Tabela 6</b> - Comparação do relatório de saída do Analysis Bio: simulação dados horários (%) para NE e NO.....	63

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1. Justificativa .....	16
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo geral .....	17
1.2.2. Objetivos específicos .....	18
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
2.1. Repercussão da presença da vegetação no desempenho térmico de edificações .....	19
2.2. Ferramenta de simulação Energyplus .....	28
<b>3. MATERIAL E MÉTODO</b> .....	33
3.1. Material e método da 1º etapa: determinação de parâmetros térmicos das espécies a serem estudadas .....	33
3.2. Metodologia da 2º etapa: determinação das características da edificação térrea a ser estudada .....	42
3.3. Metodologia da 3º etapa: simulação.....	46
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	53
4.1. Medição de Temperatura de globo (Tg) e Temperatura de bulbo seco (Tbs) das três espécies arbóreas .....	53
4.2. Ferramenta de simulação Energyplus.....	55
4.3. Análise dos resultados da temperatura interna pela ferramenta de simulação Analysis Bio.....	55
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	64
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	66

## 1 INTRODUÇÃO

O conceito de desempenho térmico em edificação térrea depende de vários fatores e vem sendo considerado uma tendência irreversível no mundo todo. O desempenho térmico em edificações apresenta uma forte relação com a qualidade de vida e bem estar do indivíduo. Para garantir esta qualidade, as pessoas estão redirecionando cada vez mais a retomada de novos valores com propostas de artifícios menos impactantes no meio ambiente, para atender suas necessidades dentro da própria moradia. Esta preocupação está associada tanto com o desenvolvimento da consciência ambiental devido ao crescente fato do aquecimento global, como a redução de custos nas despesas mensais.

Assim como o conforto ambiental, o desempenho térmico em edificações, dentro de uma escala satisfatória, significa sensação de bem-estar, que é resultado da relação dos materiais de vedação e aos fatores ambientais do local onde está inserida. Apesar do conceito de conforto ambiental ser bastante subjetivo, Satller (1991) afirma que “a sensação de conforto ou desconforto representa a integração de respostas de nossos sentidos a estímulos ambientais”. O conceito de desempenho térmico e edificações tomou impulso na década de 90 com as questões de sustentabilidade, e estão mais ligadas aos aspectos práticos da aplicação do conceito na concepção e execução das construções. No caso brasileiro, segundo Borges e Sabbatini (2008), além dos aspectos ambientais e do atendimento aos usuários, a aplicação do conceito de desempenho também pode ser uma boa oportunidade para a melhoria da qualidade das habitações brasileiras e da otimização dos recursos governamentais, pois a aplicação do conceito exige uma visão de longo prazo.

Partindo da premissa de fornecer ao indivíduo condições ideais de temperatura, a arborização próxima a edificação se destaca como uma alternativa, não apenas ecologicamente correta, mas também, economicamente viável se implantada corretamente.

As cidades crescem constantemente e abrigam números cada vez maiores de pessoas. Os grandes centros urbanos, simbolizados como progresso e local supostamente ideal para melhor qualidade de vida, está sob ameaça do crescimento desordenado. Muitas vezes o emprego errôneo dos materiais de vedações compromete o desempenho térmico no interior das habitações que acabam gerando uma má qualidade de vida dos usuários.

O aumento da temperatura nas áreas urbanas, devido à grande impermeabilização do solo com construções ou com pavimentação, ao aumento da concentração de poluentes, aos materiais de vedação altamente refletores e absorventes, contribui para a formação das ilhotas térmicas. O descaso com a vegetação também está aliada a este fato, lesionadas ou até mesmo banidas, causam desequilíbrio térmico nas aglomerações urbanas e conseqüentemente no interior das edificações.

De acordo com Bueno (1998), a falta de vegetação aliada aos materiais utilizados tem alterado significativamente o clima dos agrupamentos urbanos devido à incidência direta da radiação solar nas construções. Da porção de radiação de onda curta absorvida, grande parte retorna ao meio externo sob a forma de calor, ou melhor, radiação de onda longa, que tendo sua dissipação reduzida devido à poluição, transforma as cidades em verdadeiras estufas. Esse fenômeno tem feito com que o consumo de energia para o resfriamento de interiores aumente consideravelmente nos últimos tempos.

Estudos são cada vez mais freqüentes na tentativa de buscar uma alternativa adequada para viabilizar o uso de recursos naturais de climatização sem causar grandes impactos no meio ambiente, uma vez que o consumo de energia para resfriar ambientes no verão ou para aquecê-los no inverno, vem aumentando cada vez mais.

A vegetação é, para muitos autores, um importante componente regulador da temperatura, pois absorve com muito mais facilidade a radiação solar que é utilizada nos seus processos biológicos através da fotossíntese e transpiração. De acordo com Lombardo (1985), a maior quantidade de vegetação implica na mudança do balanço de energia, devido à necessidade de as plantas absorverem o calor em função de seus processos vitais.

De acordo com Bueno (1998), alguns pesquisadores têm se dedicado a estabelecer, por meio de medições de campo ou simulações em laboratórios, valores médios de radiação global e difusa, transmitido através de florestas ou indivíduos arbóreos. Esses números variam conforme a espécie, o tamanho e a forma de cada um deles, o que torna o trabalho de definição de parâmetros bastante complexo.

O homem tem, segundo Frota e Schiffer (1995), melhores condições de vida e de saúde quando seu organismo funciona sem ser submetido à fadiga e estresse, inclusive térmico. Em alguns casos, porém, as edificações não oferecem condições ambientais adequadas para que estes tenham uma qualidade de vida satisfatória. A esse motivo, agrega-se ao fato de que a ausência da vegetação no entorno das edificações altera significativamente o

clima do interior devido à incidência direta da radiação solar pelos fechamentos opaco e transparente, e transforma-os em verdadeiras estufas, aumentando o consumo de energia para o resfriamento. Por exemplo, uma superfície gramada exposta ao sol consome uma parte do calor recebido para realizar a fotossíntese. Uma outra parte do calor é absorvida para evaporar água (evapotranspiração). Criam-se então um microclima mais ameno que refresca os espaços interiores da edificação.

Mas a escolha da espécie não deve ser feita de forma aleatória. Existem fatores a serem observados que colaboram para que a vegetação cumpra com o seu desempenho como amenizador térmico, um deles é referente ao porte da vegetação, que deve ser proporcional à área que se deseja sombrear e outro ao fluxo de ar no ambiente arborizado. A árvore, segundo Rigitano (2004), é a forma vegetal mais característica da paisagem urbana, a qual tem-se incorporado em estreita relação com a arquitetura ao longo da história, criando uma ambiência urbana agradável. Exatamente por este motivo, deve-se pensar seriamente no desenho dos jardins, já que estes podem influenciar no microclima dentro das construções e trazer a satisfação dos usuários.

Para Olgyay (1973) o sombreamento se constitui num dos elementos fundamentais para a obtenção do conforto em climas tropicais. A vegetação é um ser vivo da biosfera que completa o meio ambiente e funciona como uma segunda capa que obstrui a radiação solar direta, a difusa, a refletida e a de onda longa. Afirma o autor que a vegetação propicia resfriamento passivo em uma edificação por dois meios: por sombreamento lançado pela vegetação que reduz a conservação da energia radiante em calor sensível, conseqüentemente reduzindo as temperaturas de superfície dos objetos sombreados; pela evapotranspiração na superfície da folha, resfriando-a e ao ar adjacente devido à troca de calor latente.

O planejamento da implantação de espécies arbóreas próximas a edificações leva em conta diferentes critérios, como forma e disposição das raízes (a fim de que fundações não sejam prejudicadas com seu desenvolvimento), altura da árvore adulta (para que a rede elétrica seja preservada), estética, segurança, privacidade e outras características individuais, para que essas não interfiram na necessidade de bem-estar térmico e visual do usuário no interior da edificação. Essa prática leva, às questões cruciais da escolha da espécie adequada para proximidades das edificações, ou seja, quais espécies usar e qual a distância ideal entre árvore e edificação, qual oferece a melhor sombra, enfim qual espécie apresenta

melhor desempenho térmico associado com o material de vedação de edificações térreas dentro de padrões que representam a realidade das habitações onde a maioria da população desfruta de pleno estado físico e psicológico.

Apesar de várias pesquisas já realizadas tratarem dos efeitos do sombreamento de indivíduos arbóreos sobre edificações avaliando principalmente a atenuação da radiação solar sobre estas, o fato de existir grande número de espécies a ser estudada, a pesquisa, nesta área, ainda é insuficiente. Portanto, neste trabalho, é analisada a atenuação da radiação solar através de espécies comumente usadas na arborização da cidade de Londrina – PR. Através de medições em campo, foram obtidos valores de radiação solar global à sombra de indivíduos arbóreos e ao sol (campo aberto), a fim de se comprovar o diferencial de temperatura entre as espécies arbóreas estudadas, e por ferramenta de simulação quantificar a eficiência que a vegetação proporciona para edificações térreas.

## **1.1 Justificativa**

Com a população cada vez maior, e com a concentração das pessoas nos centros urbanos, é visível a modificação do clima em decorrência desta urbanização interna. Superfícies de concreto, edificações, alta emissão de calor de condicionadores de ar, fontes de calor doméstico, comercial e industrial, e a poluição gerada pelos veículos e indústrias contribuem para a modificação atmosférica nas grandes cidades e influenciam os consumos de energia.

De acordo com D'Ornellas (2004), até recentemente a ênfase maior residia no controle que o clima exercia sobre o homem e suas atividades. Com o aumento da população e aumento das capacidades tecnológicas/científicas da humanidade percebeu-se que o homem pode influenciar e de fato tem influenciado o clima, apesar dessa ação ser feita principalmente numa escala local. O processo de urbanização é bastante significativo em termos de modificação do clima em escala local.

Portanto, repor a massa vegetal nos loteamentos residenciais seria uma das contribuições para reverter efeitos climáticos a nível local e também em escala microclimática. De acordo com Mascaró (2002), a utilização da vegetação é hoje uma das

estratégias recomendadas pelo projeto ambiental que procura reduzir os efeitos da ilha de calor, da poluição urbana e reduzir o consumo de energia nas cidades.

Atribuir à vegetação a capacidade de minimizar o calor e qualificar o clima interno dos ambientes através do desempenho térmico, que esta pode oferecer através de suas características específicas, minimizando o uso de recursos artificiais para esses fins, pode ser considerado um recurso eficiente para minimizar o efeito indesejável que a radiação solar incidente numa fachada exposta a esta pode ocasionar. As edificações em seus padrões atuais, para manter em seu interior um equilíbrio térmico, necessitam consumir grande quantidade de energia, devido à utilização de equipamentos que proporcionam formas artificiais de conforto ambiental. Desta forma, distancia-se, cada vez mais, da possibilidade de uso dos elementos naturais que podem ser agregados a edificação como uma possível estratégia bioclimática passiva, ou seja, está a disposição para ser explorada de forma adequada.

E sob esses aspectos, ressalta-se a importância de realizar esse estudo, que pretende contribuir com projetistas para elaborar o projeto arquitetônico visando inserir (e onde inserir) a massa arbórea no entorno das edificações (mesmo com limitações de locação dentro do terreno), qual espécie, o que observar e qual efeito da massa arbórea sob os aspectos visuais, estéticos, segurança, privacidade e atenuação da radiação solar incidente sob a forma de sombreamento.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de edificação térrea contando com o sombreamento, proporcionado pela presença de espécies arbóreas, como atenuador da radiação solar incidente.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para tornar possível esta avaliação é necessária a realização das análises a seguir:

- Determinar parâmetros térmicos de espécies arbóreas selecionadas e localização adequada destas em relação à edificação;
- Utilizar a simulação, através do Energyplus, para obter dados climáticos internos das edificações no período de um ano, a partir dos dados climáticos externos da cidade de Londrina;
- Determinar o benefício térmico de espécies arbóreas em edificação térrea.
- Identificar parâmetros de avaliação que considerem a influência das variáveis de entorno no desempenho térmico de edificação térrea.

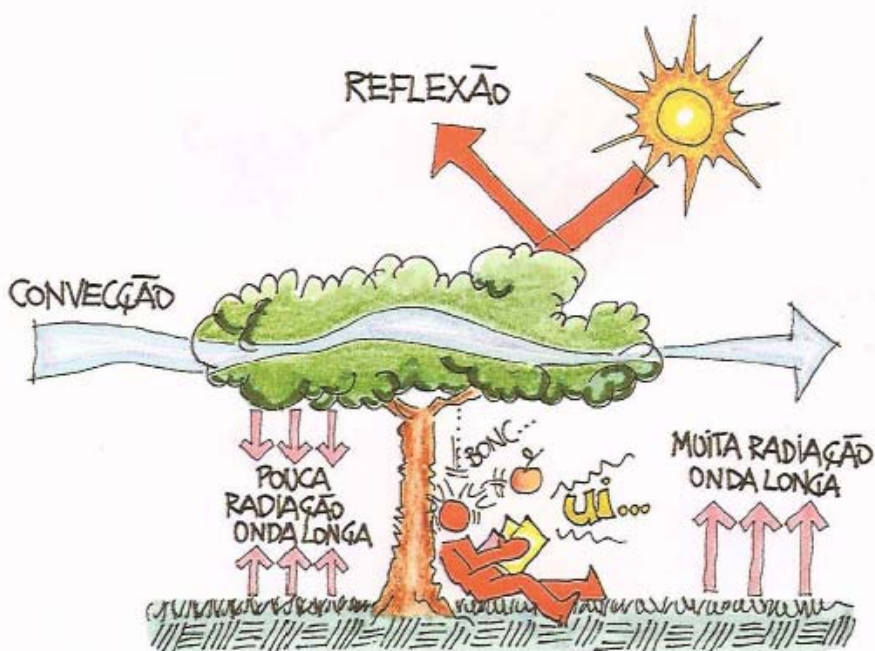
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Repercussão da presença da vegetação no desempenho térmico de edificações

Vários autores citam os efeitos da radiação solar presente na atmosfera e no solo terrestre e que a vegetação, além de bloquear sua incidência, absorve a maior parte dessa radiação e contribui para o equilíbrio do balanço energético nas edificações. ROMERO (1988), afirma que a vegetação deve proporcionar sombra quando esta é necessária, sem no entanto interferir com as brisas e, essencialmente, auxiliar na diminuição da temperatura, a partir do consumo do calor latente por evaporação.

A radiação solar direta e difusa que atinge a superfície do solo e da vegetação é refletida ou absorvida. A radiação absorvida determina o aquecimento dos corpos os quais passam a emitir radiação de onda longa. A atmosfera absorve a radiação de onda longa e a irradia em direção à superfície do solo. O balanço ou saldo de radiação é a diferença entre o total de radiação incidente e a soma da radiação refletida e irradiada, representando o total de radiação que é absorvido pelo solo e vegetação (PILAR, 1995).

Nas escalas mesoclimática e microclimática, a radiação solar pode ser interceptada pelos elementos vegetais e topográficos do local. A vegetação é diferente de outras possíveis obstruções no bloqueio da radiação solar. As árvores com folhas caducas, por exemplo, podem sombrear a edificação no verão, enquanto que no inverno permitem a passagem do sol. Em locais arborizados, a vegetação pode interceptar entre 60% e 90% da radiação solar, causando uma redução substancial da temperatura da superfície do solo. Isto acontece porque o vegetal absorve parte da radiação solar para o seu metabolismo (fotossíntese). A parcela de calor emitida da árvore para o solo também é bem menor que a céu aberto. Além disso, o movimento do ar entre as folhas retira grande parte do calor absorvido do sol, conforme mostra a Figura 1 (LAMBERTS *et al*, 1997).



**Figura 1** - Árvore e radiação solar.

**Fonte:** Lamberts et al, 1997.

Tanto em grupos ou isoladas, as árvores, atenuam grande parte da radiação solar incidente, impedindo que sua totalidade atinja as edificações. A vegetação, segundo Furtado (1994), propicia resfriamento passivo em uma edificação através do sombreamento lançado pela vegetação - que reduz a conversão da energia radiante em calor sensível, conseqüentemente reduzindo as temperaturas de superfícies dos objetos sombreados, e através da evapotranspiração na superfície da folha, resfriando a folha e o ar adjacente devido à troca de calor latente. Dessa forma, ocorre uma diminuição das temperaturas internas, amenizando o clima.

Segundo Bernatzky (1982), a influência dos indivíduos arbóreos no ambiente, em resumo, envolve: resfriamento do ar, aumento da umidade relativa do ar, suprimento de ar fresco, filtração do ar, absorção de ruídos, produção de oxigênio.

A permeabilidade, ou ainda, a transparência das árvores com relação à radiação solar tem gerado grande interesse entre os pesquisadores. Esse fato se deve à falta de valores confiáveis, para se projetar edificações visando o bem-estar dos usuários.

O uso da vegetação como dispositivo de sombreamento e gerador de umidade pode ser bastante eficiente. A seleção da vegetação adequada para sombreamento de uma edificação dependerá da orientação da fachada que se deseja sombrear, dos ventos

dominantes, da qualidade do solo, do espaço disponível no terreno e principalmente da altura e do azimute do sol nos períodos de maior radiação solar, que correspondem aos dias mais quentes do ano.

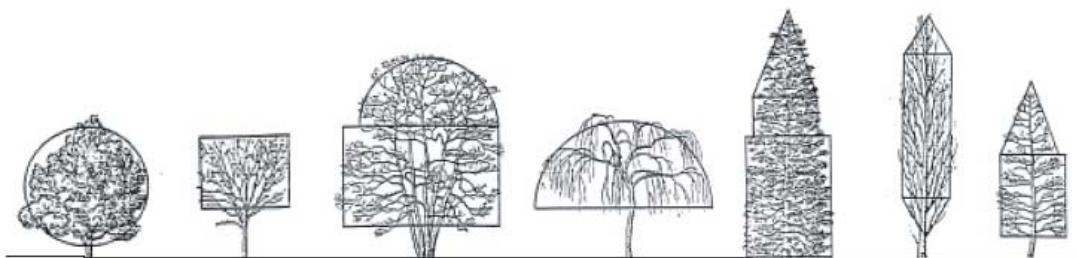
Como afirma Furtado (1994), a escolha da localização da vegetação para controle da radiação solar não deve ser feita aleatoriamente. Não cabe, porém um procedimento idêntico para todos os casos, visto que os fatores críticos variarão em cada situação. Graças à identificação através dos Diagramas Solares das diferentes trajetórias do Sol durante o ano, há condições de maximizar o sombreamento no verão se necessário, minimizá-lo no inverno através de uma disposição correta de árvores, arbustos e arvoretas.

O porte e a forma de uma árvore afetam diretamente a área coberta por sua sombra. Arbustos ou arvoretas, dependendo da orientação e época do ano que se deseja sombrear, podem ter uma área de sombreamento igual ao de uma árvore de grande porte. Árvores de forma esférica lançam amplas sombras que são ideais para o controle solar. Ao contrário, árvores altas e estreitas têm suas sombras reduzidas devido ao porte. Uma vez que o sombreamento de uma árvore é resultado da área da superfície sombreada, a interação do porte e forma da planta com a trajetória solar diária nas estações do ano deve ser utilizada para determinar o melhor sombreamento da mais ampla área (BUENO, 2003).

Como existem diversas espécies diferentes é natural que cada uma possua suas próprias características físicas e biológicas. Uma das características a ser levada em consideração são as várias formas de copas de árvores que proporcionam diferentes geometrias de sombras. Vários autores concluíram que a forma da copa pode interferir na interceptação da radiação solar direta.

Sattler, Sharples & Page (1987), descreveram uma ferramenta de projeto, mais especificamente, um programa de computador, que avalia os efeitos das sombras em relação às edificações. O programa determina a área e a posição da sombra de um indivíduo arbóreo ou um grupo de árvores, em uma espécie com qualquer orientação e inclinação; fornecendo dados numéricos e gráficos, horários, entre o nascer e o pôr-do-sol, para qualquer dia do ano, qualquer lugar da terra e qualquer posição relativa entre a árvore e a edificação. São reconhecidos quatro tipos de forma copa arbóreas diferentes: esférica, cilíndrica, cone vertical e cone invertido; além da combinação entre elas (Figura 2). Em suas conclusões, os autores afirmaram que os resultados obtidos com esse programa podem ser usados tanto para prevenir o sombreamento de janelas, paredes e coletores solares, quando os ganhos com a

radiação devem ser maximizados; quanto para se beneficiar dele, utilizando-se as árvores como mecanismos para sombreamento em locais onde o clima o requer.



**Figura 2** - Formas de árvores.  
**Fonte:** SATTLER *et al.*, 1987.

Simpson & Mcpherson desenvolveram em 1997, um trabalho de simulação do impacto das formas arbóreas no uso energético residencial (em Sacramento, Califórnia), e concluíram que o formato das copas pode reduzir a incidência de radiação diminuindo o uso de ar condicionado no verão e ajudando a aumentar a temperatura no inverno, de acordo com a interseção da energia solar. As simulações foram feitas em 254 casas, de acordo com o número, tamanho e orientação das árvores, sendo que a redução no ganho solar foi calculada pelas formas das árvores associada com as edificações.

Alguns fatores como características ornamentais, custos, disponibilidades e adequação ao uso, localização da vegetação, devem ser considerados para se obter um eficiente controle da radiação solar. Um estudo realizado por Axarli e Eumorfopoulou (2001), na Grécia na cidade de Thessaloniki, que possui nas proximidades mar, montanhas e rios para influência do clima local, mostrou que a vegetação pode ser um importante modificador do microclima dentro e fora dos edifícios. As plantas externas ao edifício podem afetar a exposição do sol e vento e conseqüentemente as condições de conforto no interior, diminuindo o uso da energia. A eficiência energética de acordo com o desenho das edificações e seus jardins, deve ser baseada no sol e vento, as duas forças maiores que influenciam no funcionamento do edifício. O desenho do uso da vegetação para eficiência energética, priorizou o controle do movimento do ar e a proteção dos edifícios dos ventos frios, com passagem do sol no inverno e o oferecimento de sombra deixando as brisas no verão. Foram estudados o desempenho da vegetação para proteção solar e o dos ventos separadamente e depois combinadas as duas estratégias. Chegou-se à conclusão que a escolha das espécies pode ser muito difícil, devido à grande variedade existente, porém seu uso para a obtenção de conforto é incontestável. Recomenda-se então, o uso de plantas nativas.

Kauffman *et al* (2001), estudaram na cidade de Maracaibo, Venezuela (considerada de clima quente e úmido), a árvore “cuji” (*Prosoja floriflora*), por ser muito utilizada naquela região. A pesquisa monitorou o microclima com temperatura de bulbo seco, umidade relativa e velocidade do ar, foram consideradas também, as radiações de onda longa e curta, convecção, condução, evapotranspiração e perda de calor sensível e latente pela respiração. Foram feitas simulações de computador comparando o efeito de sombra da árvore e telhados comumente utilizados na cidade, além do conforto humano. Chegou-se à conclusão que o uso da árvore é muito eficiente em áreas de atividades humanas intensas, melhorando o efeito do microclima durante o dia em até 25%, enquanto que a noite mantém mais ou menos as condições externas. Propõe-se então que o uso espontâneo da planta seja assumido como prática pela cidade, o que causaria impactos positivos para o meio ambiente. A massa vegetal é benéfica tanto para o espaço urbano quanto para o ambiente construído, entretanto seu uso e aplicação é aleatório demandando estudos para determinar uma configuração.

Já Bueno (2003), apresentou em seu trabalho estudos sobre melhoria do conforto térmico em duas salas de aula, depois da colocação de algumas árvores na área externa. Foram feitas medidas dos parâmetros de conforto ambiental primeiramente sem vegetação e depois se colocando quatro mudas de *Ficus Benjamina*, protegendo as fachadas mais expostas ao sol. Foi observado que, em média, as temperaturas na situação com árvores foram 1,5°C menores que na situação sem árvores.

O projeto desenvolvido por Rogora e Néri (2001), prevê a renovação de um edifício situado na cidade de Lognana na Itália, recentemente transformado em escritório. No seu desenvolvimento muitos materiais e soluções diferentes foram testados, porém o uso de plantas mediterrâneas e tropicais foi muito valorizado para recriar uma simbiose entre homem e natureza, controlando as condições térmicas internas. As plantas cobriam 25% do piso na face sul e 10% na face norte, sendo que a escolha das espécies foi decidida com a ajuda de um agrônomo. Durante dois anos, mudanças foram feitas com a posição das plantas, devido à posição solar, falta de adaptação e ataque de parasitas. Durante esse estudo, a equipe trabalhou nas condições da arquitetura solar verde, e o efeito da vegetação em espaço e com boa luminosidade proporcionou maior rendimento no trabalho e qualidade de vida. Concluíram que a vegetação funciona como termorregulador microclimático e modifica o albedo das superfícies porque interfere na radiação recebida durante o dia e perdida durante a noite.

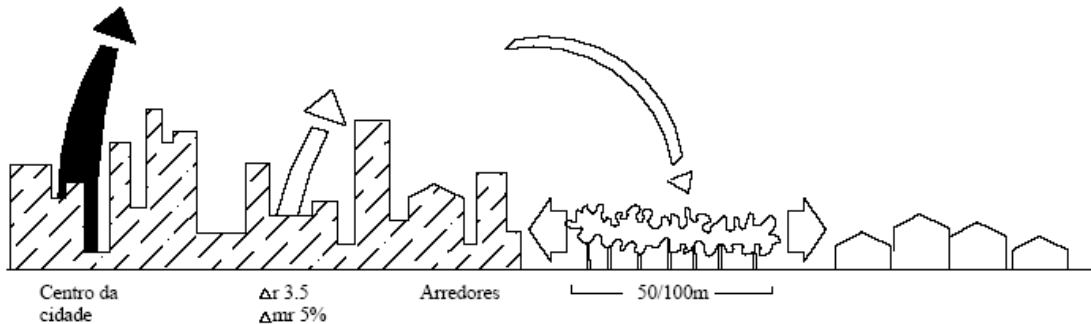
O sombreamento é uma estratégia fundamental para redução dos ganhos solares através do envelope da edificação. Uma proteção solar corretamente projetada deve evitar os ganhos solares nos períodos mais quentes, do dia e do ano, sem obstruí-los no inverno e sem prejudicar a iluminação natural através das aberturas. Para tanto, é necessário que o projetista conheça a geometria solar de inverno e verão em relação ao lugar de implantação dos edifícios (ELETROBRAS, 2006).

O sombreamento de fachadas de edificações, cuja orientação é considerada mais crítica em relação ao sol, provocada por massas de vegetação pode minimizar o consumo anual de energia. O sombreamento possui um amplo efeito fisiológico alcançado pela redução do stress térmico, além de reduzir os ganhos de calor através dos fechamentos opacos e transparentes das edificações, também contribui com gastos menores em relação a sistemas que reduzem as temperaturas internas.

O uso da vegetação nas áreas externas adjacentes ou integradas as edificações (pátios) proporciona o sombreamento da edificação e de suas aberturas, possibilitando a diminuição da temperatura no exterior próximo a edificação, enquanto o solo vegetado reduz a quantidade de poeira carregada pelo vento (GIVONI, 1981). Em algumas horas da tarde, o sol fica quase perpendicular a fachada oeste, o que induziria a uma proteção que praticamente obstruiria o campo visual da abertura. Do ponto de vista da iluminação, de acordo com Papst (2005), isto significa um sério problema para o ambiente interno, que necessitaria de luz artificial durante o dia. O uso de árvores com folhas caducas pode ser uma solução para o problema; além de sombrear a janela sem bloquear a luminosidade natural, permite a incidência do sol desejável no inverno, quando então as folhas tendem a cair.

A seleção da espécie arbórea ideal para sombreamento de uma edificação dependerá da orientação da fachada que se deseja sombrear, da direção dos ventos dominantes, da qualidade do solo, da topografia, do espaço disponível no terreno, do micro e macroclima da região onde se localiza a edificação, dos períodos de maior radiação solar que correspondem aos dias mais quentes do ano. Desta forma, a vegetação pode produzir muitos efeitos no microclima tanto no meio natural quanto nas cidades. Izard & Guyot (1983), dizem que um hectare de bosque pode produzir por evapotranspiração, cerca de 5000 toneladas de água por ano, e que medições de temperatura mostraram a existência de 3,5°C de diferença entre o centro de uma cidade e os bairros próximos a uma faixa de vegetação com largura entre 50m e 100m. Além disso, a umidade relativa aumenta em 5% devido à presença das

áreas verdes, devendo-se levar em conta também às diferenças topográficas e a presença de água de rios e lagos. A Figura 3 ilustra este efeito do umedecimento do ar por uma área com vegetação.



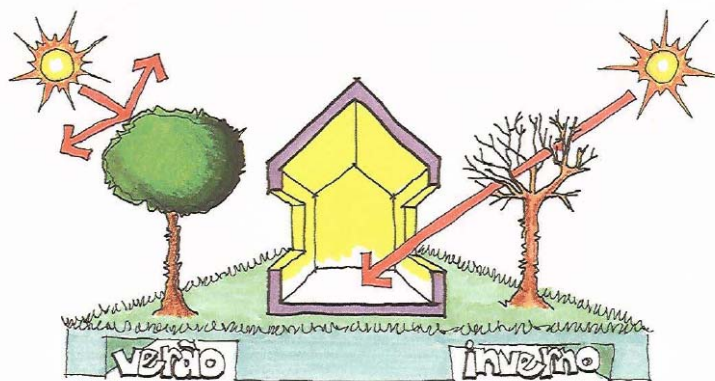
**Figura 3** - Efeito do umedecimento do ar por uma área com vegetação.

**Fonte:** Izard & Guyot, 1983.

Para que a vegetação cumpra sua função microclimática, é necessário que o elemento vegetal represente pelo menos 30% da superfície urbanizada, sendo que este deve ser suprido com água suficiente para sua sobrevivência e a realização da evapotranspiração, entre outras condições. O fenômeno da retenção de partículas em suspensão para uma mesma superfície projetada no solo tem as árvores como retentoras dez vezes maiores que os gramados e de trinta a sessenta vezes maior que uma superfície asfaltada (BUENO, 2003).

A sombra produzida por árvores e outras plantas é um dos efeitos relacionados com a radiação solar, mais evidentes, no entanto existem outros que, ainda que não se consideram comumente, são igualmente importantes, como a absorção, emissão e transmissão de radiação infravermelha (TORRE, 1999). E ainda diz que, a vegetação, ao afetar o microclima no entorno dos edifícios, influenciará também em seu consumo energético para acondicionamento ambiental. Os estudos realizados a este respeito, mostram que, assim como há reduções no consumo, também pode haver aumentos, isto dependerá do clima do local, da espécie arbórea e da quantidade destas em relação à superfície. Os efeitos combinados de espécies caducifólias e perenifólias, aumentam a densidade de árvores plantadas e conseqüentemente os benefícios (Figura 4).

Para manter o funcionamento das edificações em seus padrões atuais, há necessidade de consumir grande quantidade de energia, distanciando-se cada dia mais das estratégias bioclimáticas passivas, ou seja, aquelas que não dissipam recursos naturais, ou que ao menos colocam alternativas para renovação destes recursos (LAMBERTS, 1997).

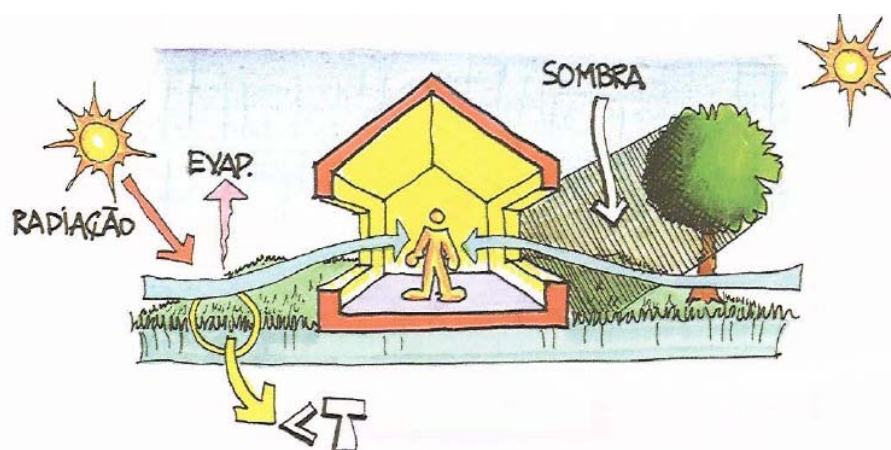


**Figura 4** - Proteção solar de árvore com folhas caducas.

Fonte: Lamberts *et al*, 1997.

Atribuir à vegetação a capacidade de minimizar o calor e qualificar o microclima do interior das edificações, pode ser uma alternativa para inverter o quadro citado acima. Para esta ser viável a vegetação deverá ser composta de arbustos e árvores de caule liso e copas altas, para que a absorção da radiação solar e o resfriamento do ar que penetra no edifício seja satisfatória.

Uma estratégia viável e de baixo custo num projeto arquitetônico, é propor áreas permeáveis gramadas ou arborizadas que consiste na retirada do calor do ar pela evaporação de água ou pela evapotranspiração das plantas. De acordo com Lamberts (1997), uma superfície gramada exposta ao sol consome uma parte do calor recebido para realizar a fotossíntese. Uma outra parte do calor é absorvida para evaporar água (evapotranspiração). Cria-se então um microclima mais ameno que refresca os espaços interiores da edificação (Figura 5).



**Figura 5** - Resfriamento evaporativo com áreas gramadas ou arborizadas.

Fonte: Lamberts *et al*, (1997).

Parker e Barkaszi (1997), realizaram na Flórida (USA), região de clima quente e úmido, um estudo onde usou uma casa móvel para realizar medições. Os resultados das medições mostraram, comparando os consumos de energia antes de protegê-la com vegetação dois anos depois, uma economia de até 60% durante os dias mais quentes do verão e de 30 a 40% para toda a temporada, além do menor consumo elétrico, se utilizou um equipamento de ar condicionado de menor tamanho.

McPherson (1984), usou simulações para ordenar resultados de um estudo sobre o impacto da vegetação na climatização de edifícios, analisando o efeito sobre a radiação solar e o vento. O estudo foi feito para quatro cidades dos Estados Unidos, tratando de abranger os diferentes climas deste país. Concluiu que, em climas frios a sombra de espécies perenifólias pode incrementar os custos de calefação até 21%, e a sombra projetada pelas copas das caducifólias tem efeitos menos importantes. No entanto, em cidades com climas quente e temperado, uma sombra densa sobre toda a parede dos edifícios reduzia os custos de climatização (ar condicionado), de 53 para 61% e as cargas térmicas para resfriamento, entre 32 e 49%. Conclui ainda que, por outro lado as reduções na velocidade do vento eram benéficas em climas frios, no entanto em climas temperados os efeitos poderiam ser contraditórios se a vegetação estivesse mal localizada, por exemplo, em Salt Lake City, uma redução de 50% na velocidade do vento diminuía os custos anuais de calefação em 8%, enquanto que aumentava os de resfriamento 11% ao obstruir as brisas no verão. Então, sua conclusão foi que os efeitos da vegetação podem ser tão negativos como positivos, pois é fundamental ter um bom conhecimento das espécies vegetais e do clima local.

Portanto pode-se observar que os efeitos da vegetação no consumo energético para acondicionamento ambiental dos edifícios, pode ser analisado sob dois aspectos, um a nível global onde se analisa a influência da presença da vegetação em um determinado local, levando em consideração a distribuição e a proporção da massa arbórea em relação à densidade da construção, e o outro, considerando os efeitos microclimáticos do local onde será analisado. Também é necessário mencionar que assim como a correta disposição das árvores traz benefícios, a localização e seleção de espécies arbóreas inadequada podem resultar em efeitos negativos e comprometer os custos com energia seja para resfriamento ou aquecimento das edificações em determinadas estações do ano.

Weiller (2008), analisou o desempenho térmico de quatro unidades habitacionais em Londrina através de parâmetros representativos da qualidade térmica global das edificações. A partir da mesma tipologia construtiva, selecionou condições de entorno distintos como topografia, orientação geográfica, sombreamento e um caso base como referência. Para a coleta de dados realizou medições de temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo nos períodos de verão e inverno para conhecer as condições térmicas das habitações. Simulou os casos em estudo, através do programa Energyplus, gerando dados internos horários para o ano inteiro. Realizou entrevistas com os moradores a fim de conhecer suas preferências e expectativas em relação às condições de conforto de suas habitações. A coleta de dados possibilitou a avaliação das unidades habitacionais pelos métodos das normas e metodologias conhecidas: NBR 15220, PNBR02.136.01.001, Zona Bioclimática de Givoni, Horas de Desconforto de Barbosa e ASHRAE:55, analisando qual metodologia apresenta parâmetros que refletem as condições encontradas nas medições realizadas no local de estudo. Os resultados obtidos foram: a) nas avaliações, os métodos prescritivos apontaram para condições térmicas idênticas nos quatro casos de estudo; b) os métodos por desempenho e de conforto apontaram para o caso “orientação” como sendo o mais desconfortável no período de verão e inverno, em contrapartida ao caso “sombreamento”. Foi concluído então, que os parâmetros utilizados pelos métodos por desempenho representam melhor as condições térmicas das edificações, utilizando limites de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante.

## **2.2 Ferramenta de simulação Energyplus**

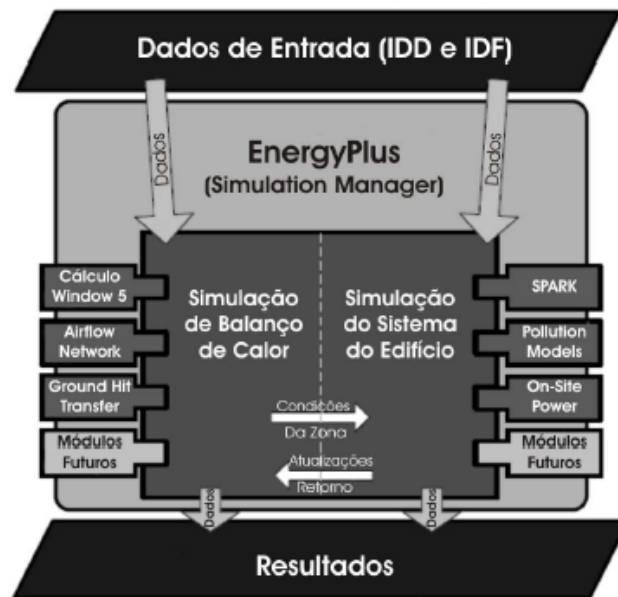
A preocupação com a redução de consumo de energia tem se tornado cada vez mais presente, sendo os sistemas de climatização e iluminação as parcelas mais significativas do consumo total em edificações. Segundo PROCEL - Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica – o desperdício de energia elétrica no Brasil é bastante elevado. As estatísticas mostram que 42% do consumo dessa energia se dá nas edificações residenciais e comerciais e que seu potencial de conservação em prédios já construídos pode atingir 30% e em novas construções esse valor pode chegar a 50%. Nesse sentido, o impacto

ambiental de uma edificação pode ser minimizada quando o seu projeto passa a ser objeto de uma otimização que pode ser feita por meio de simuladores computacionais como o DOE-2, BLAST (Building Loads Analysis and Thermodynamics), EnergyPlus, , Spark, eQuest, Liberacy 1.0 e outros.

O uso de ferramenta computacional dirige-se a engenheiros e arquitetos que estão voltados ao desenvolvimento de projetos de edificações e de seus sistemas de climatização, iluminação, entre outros, visando a eficiência energética dos edifícios, a possibilidade de avaliar o consumo energético auxiliando na identificação de estratégias e sistemas mais sustentáveis.

Para a realização das simulações neste trabalho, foi utilizado o programa Energyplus que é um programa de acesso gratuito financiado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, resultou da união dos softwares BLAST (Building Loads Analysis and Thermodynamics) e DOE-2. Este programa é utilizado como ferramenta dentro do processo de certificação de edificação pelo World Green Building Council conhecido como certificação LEED e estima o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior com base no clima e na caracterização do edifício ou da sala a ser estudada: desde a geometria, componentes construtivos, cargas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso e ocupação e ainda permite ao usuário solicitar relatórios com dados estimados durante o processo de simulação, incluindo temperatura interna de cada zona térmica, consumo de energia por uso final e carga térmica retirada pelo sistema de condicionamento de ar.

Esta possibilidade ocorre devido à estrutura do programa composta pelo operador da simulação, módulo de simulação do balanço de calor, e módulo de simulação do sistema da edificação, conforme a Figura 6. Esta estrutura permite ainda, adicionar novas características ao modelo e fazer ligações com outros programas, como o Window 5 e o Slab, programa utilizado para o cálculo das temperaturas do solo.



**Figura 6** - Estrutura do programa Energyplus.  
**Fonte:** Energyplus, 2007.

De acordo com Ramos (2008), o programa Energyplus é bastante utilizado em pesquisas voltadas para a avaliação da variação no consumo energético e desempenho térmico da edificação, no estudo da alteração de características da edificação, tais como: materiais, geometria, uso de equipamentos eficientes e orientação. Algumas destas pesquisas são apresentadas a seguir.

Este simulador, segundo Alves (2005), consiste em uma coleção de módulos de programas que permitem calcular a energia requerida para climatizar um edifício, o que é feito simulando o edifício e os sistemas de energia associados sob diferentes condições ambientais e operacionais. Permite, por meio de interfaces, introduzir dados sobre a geometria de uma edificação; dos materiais opacos e transparentes utilizados na sua envoltória; perfil de ocupação, ou seja, número de pessoas que pode variar ao longo do ano; potencial de equipamentos de iluminação, instalação e o perfil de uso; entre outros. É possível inserir informações sobre sistemas de climatização e de geração de energia - geradores, células fotovoltaicas etc -, assim como avaliar o consumo diário, mensal ou anual da edificação e, com isso, analisar os seus potenciais níveis de redução e uso racional de energia.

O balanço energético utilizado pelo programa é uma tentativa de descrever o entorno da edificação. A modelagem dos ambientes é definida por dois tipos de superfícies: primeiro as superfícies que armazenam energia - que são as superfícies internas que dividem espaços com a mesma temperatura e a segunda são as superfícies que transferem energia - superfícies externas ou internas que separam espaços com temperaturas diferentes.

Neste caso, segundo Welleir (2008), uma zona não é um conceito geométrico e sim, um conceito térmico. Uma zona é um volume de ar com temperatura uniforme mais as superfícies externas (superfícies que transferem energia) e as superfícies interiores ao volume de ar (superfícies que armazenam energia). O que define uma zona térmica é o sistema de condicionamento de ar, dessa forma, dois ambientes, não adjacentes, podem formar uma zona térmica, desde que tenham a mesma temperatura e sejam servidos pelo mesmo sistema de condicionamento de ar.

O programa necessita de um arquivo climático da região da edificação a ser analisada, com dados horários de temperatura, umidade relativa, ventos e radiação solar, permitindo que os cálculos do balanço de calor sejam realizados em intervalos menores que 1 hora. A simulação utilizando sistemas modulares permite a integração do cálculo do balanço de calor na zona térmica, entrada e saída de dados, possibilitando a sincronização com outras interfaces; além da inclusão do fluxo de ar entre múltiplos ambientes, ou simulação de energia elétrica incluindo células combustíveis, e outros sistemas de distribuição de energia.

De acordo com Menezes (2006), o programa simula o desempenho térmico e o consumo de energia da edificação a partir de dados de projeto e do meio externo:

- Arquivo climático horário do local da implantação;
- Caracterização geométrica da edificação;
- Caracterização dos componentes construtivos (paredes, cobertura, etc);
- Propriedades físicas dos materiais de construção (argamassa, tijolo, vidro, etc)
- Padrões de uso e ocupação;
- Cargas elétricas instaladas (iluminação e equipamentos);
- Características do sistema de condicionamento de ar;
- Estrutura tarifária de energia.

Quanto aos dados de saída do Energyplus, o usuário pode solicitar diversos tipos de relatórios do programa, com dados estimados durante o processo de simulação, incluindo temperatura interna de cada zona térmica, consumo de energia por uso final e carga térmica retirada ou adicionada pelo sistema de condicionamento de ar. Os principais arquivos de saída são (ENERGYPLUS, 2007):

- Arquivo de erros (.err), que lista os tipos e erros ocorridos no programa;
- Arquivo de variáveis de saída (.rdd), que lista todas as variáveis de saída para a simulação (temperatura média do ar interno, umidade interna, temperatura superficial das paredes internas, etc.);
- Arquivo de parâmetros (.eio) que especifica os parâmetros da simulação e lista os resultados dos cálculos das funções de transferência por condução;
- Arquivo de resultados da simulação (.eso), que possui interface com Excel, possibilitando a plotagem de gráficos dos resultados; e Arquivo de desenho (dxf), com interface no Auto Cad.

A escolha pelo Energyplus como ferramenta de simulação para este trabalho deu-se pelo fato do programa apresentar flexibilidade de variáveis de simulação e crescente utilização em pesquisas científicas.

### **3 MATERIAL E MÉTODO**

Para a realização do trabalho, estabeleceu-se um roteiro que conta com três etapas, onde a primeira compreende a caracterização detalhada das espécies arbóreas selecionadas para o levantamento de dados e a descrição do procedimento experimental, adotado em campo para obtenção dos resultados, bem como a escolha do local onde estão inseridas. A segunda etapa consta da caracterização da edificação térrea que servirá de base para obter dados como locação no terreno, materiais de vedação e acabamento, que irão alimentar a ferramenta de simulação, Energyplus. A terceira etapa consta da descrição do procedimento para estudos da simulação computacional, descrevendo a locação das espécies em relação à edificação e orientação solar. Foram medidas as temperaturas de globo e bulbo seco da sombra das três espécies e as temperaturas de globo e bulbo seco externa em três horários distintos ao longo de 3 dias. Esses dados servirão de base para determinar a transparência das espécies arbóreas para posterior calibração da ferramenta de simulação que resultará em dados de temperatura interna da edificação. Esses resultados implicarão na locação das espécies dentro dos limites do terreno de forma adequada para que o sombreamento causado por elas sobre a edificação possa proporcionar o melhor desempenho térmico. A seguir apresenta-se detalhadamente este procedimento metodológico.

#### **3.1 Material e método da 1º etapa: determinação de parâmetros térmicos das espécies a serem estudadas**

Foram coletados dados com espécies localizadas no centro da cidade de Londrina, onde as espécies sofriam com a interferência do local onde estavam inseridas. De acordo com estas justificativas, optou-se por seguir as medições neste local onde as espécies encontram-se umas próximas das outras a uma distância de aproximadamente 10 metros entre si. Sem que uma interferisse nos dados da outra. E também por se aproximar da realidade climática local a que se pretende analisar nas edificações inseridas no contexto urbano.

Para estabelecer uma metodologia para levantar os dados necessários da 1ª Etapa desse estudo, levou-se em consideração o cumprimento das seguintes etapas:

- Levantamento e seleção das espécies arbóreas a serem amostradas;
  - Seleção do local de medição;
  - Medições de campo;
  - Análise dos resultados obtidos.
- **Seleção das espécies arbóreas**

Foram estudadas três espécies de árvores isoladas, evitando-se assim, a influência de outras sombras. As árvores foram selecionadas de acordo com a disponibilidade de sua existência isolada, levando-se em conta, ainda: a velocidade de crescimento, o tamanho, altura, densidade foliar, forma das copas, ornamentação, tipo de folhas, isolamento de outras árvores e construções, grau de toxidez e idade das espécies.

Para iniciar o trabalho de campo foi realizado um levantamento, junto à AMA – Autarquia do Meio Ambiente de Londrina, para a obtenção dos nomes das espécies arbóreas mais utilizadas, pela mesma, para a arborização da cidade de Londrina / PR. Por meio de entrevistas com funcionários do viveiro municipal, chegou-se a uma lista das espécies fornecidas para a arborização urbana conforme Tabela 1.

**Tabela 1** - Espécies arbóreas mais utilizadas pela AMA – Londrina / PR.

<b>Nome Popular</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Nome Popular</b>	<b>Nome Científico</b>
Aroeira salsa	<i>Schinus molle</i>	Canafístula	<i>Peltophorum dubium</i>
Quaresmeira	<i>Tibouchina granulosa</i>	Falso Barbatimão	<i>Cássia leptophila</i>
Chuva-de-ouro ou Cássia Imperial	<i>Cássia fistula</i>	Sabão-de-soldado	<i>sapindus saponaria</i>
Resedá	<i>Lagerstroemia indica</i>	Ipê branco	<i>Tabebuia roseo-alba</i>
Hibisco	<i>Malvaviscus arboreus</i>	Ipê amarelo	<i>Tabebuia chrysotricha</i>
Pau-ferro	<i>Caesalpinia ferrea</i>	Ipê roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i>
Macrantera ou Cassia	<i>Cassia spectabilis</i>	Sibipiruna	<i>Caesalpinia peltophoroides</i>
Falsa Murta	<i>Murraya exotica</i>	Pata-de-vaca	<i>Bauhinia forficata</i>
Sete copas	<i>Terminalia catappa</i>	Oiti	<i>Licania tomentosa</i>
Manacá da serra	<i>Tibouchina mutabilis</i>	Acássia mimosa	<i>Acacia podalyraefolia</i>
Jacarandá mimoso	<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>	Sombreiro	<i>Clitoria fairchildiana</i>
Escova de garrafa	<i>Callistemon sp</i>		

- **As espécies arbóreas selecionadas**

É interessante ressaltar aqui algumas informações, também conhecidas pelos funcionários do viveiro municipal de Londrina, a respeito da arborização urbana de Londrina.

A escolha das espécies a serem plantadas nas ruas é feita em função da presença, ou não da fiação (rede elétrica ou telefônica, por exemplo) no local. Na presença dessas redes, recomenda-se o plantio de espécies que não cresçam demasiadamente, a fim de que a fiação não seja danificada ou não se aumente demais os gastos com a manutenção, tanto das árvores quanto dos fios.

Conforme as mudas atingem determinado tamanho no viveiro, são colocadas à disposição para o plantio nos parques, praças ou ruas. Muitas vezes, os próprios moradores requisitam determinadas espécies. Neste caso a AMA apenas observa a adequação da espécie ao local do pedido, por exemplo, se há ou não a presença da rede telefônica ou elétrica citadas acima.

De acordo com as informações obtidas, optou-se por trabalhar com três espécies arbóreas. Dessa forma, a partir da listagem (Tabela 1), iniciou-se à procura dos indivíduos que cumprissem determinados requisitos como:

- Serem consideradas adultas (idade biológica);
- As características físicas das mesmas serem representativas em relação à espécie;
- Estarem situadas em locais de acordo com os critérios adotados para seleção dos locais de medição.

Levando-se em consideração os aspectos acima, foram selecionados as seguintes espécies: Aroeira salsa, Pata-de-vaca e Falsa Murta, por apresentarem características ornamentais atraentes para implantação tanto no paisagismo residencial, quanto em arborização em geral (parques, praças e arborização de ruas), por produzirem pouca sujeira (queda de folhas), serem médio porte e por possuírem raízes tipo pivotante. As características gerais das três espécies selecionadas, estão descritas a seguir.

- **Caracterização geral das espécies selecionadas**

**A) Aroeira salsa (*Schinus molle*)**

Essa espécie arbórea (Figura 7) é As características desta espécie, Segundo Lorenzi (2000), são:

**Características morfológicas** - árvore perenifólica, heliófita, suportando, contudo, sombreamento mediano promovido por outras árvores. altura de 4 - 8m, tronco de 25 – 35 cm de diâmetro, diâmetro da copa de até 16,0 m. As folhas são compostas, perene e pendente. Ocorre principalmente em solos secos e arenosos, adaptando-se com facilidade e terrenos de baixa fertilidade e pedregosos. É altamente tolerante à seca e, resiste à geada. É encontrada em beira de córregos e matas e, predominantemente em áreas de campo, porém sua frequência em todos os locais é baixa. Floresce abundantemente durante os meses de agosto a novembro e possui coloração creme. A maturação dos frutos, que são do tipo bagos e globosos, verifica-se nos meses de dezembro e janeiro, permanecendo, contudo, na árvore até fevereiro e março.

**Usos** - considerada ornamental de estatura mediana, com densidade foliar média, é bastante usada em parques, jardins e na arborização urbana, podendo ser usada sob fiação.

De acordo com Zacharias (1996), esta espécie possui crescimento rápido e raiz tipo pivotante.



**Figura 7** - Aroeira salsa (*Schinus molle*).

## B) Pata-de-vaca (*Bauhinia variegata*)

Pertencente a Família das Leguminosae, também conhecida como unha-de-vaca, essa espécie arbórea (Figura 8) é considerada de estatura mediana. Segundo Lorenzi (2000), a pata-de-vaca possui as seguintes características:

**Características gerais** – árvore semidecídua, de 7-10 m de altura e 6 m de largura de copa, de tronco cilíndrico com casca rugosa pardo-escura, um pouco fissurada. Ramagem densa formando copa mais ou menos globosa. Folhas simples, coriáceas, orbiculares, com um recorte em V formando dois lobos, de cor verde acinzentada, de 12-18 cm de comprimento. Inflorescências axilares e terminais, em racemos curtos, com diversas flores de corola com cinco pétalas ovalado-alongadas cor-de-rosa, estriadas, a inferior maior, com mancha roxa, formadas de junho a setembro. Frutos do tipo vagem, achatados, deiscentes, marrom claros, com sementes planas, um tanto carnosas, arredondadas, verde-claras.

**Usos** - árvore ornamental com atributos para uso paisagístico, principalmente para o cultivo na arborização urbana. É também recomendada para parques e jardins, tanto em plantios isolados como grupos ou renques.

De acordo com Zacharias (1996), é considerada apta para ser usada sob fiação por possuir crescimento rápido e raiz tipo pivotante.



**Figura 8** - Pata-de-vaca (*Bauhinia variegata*).

### C) Falsa murta (*Murraya paniculata*)

Pertencente a Família da Rutaceae, também conhecida como falsa- murta ou murta (Figura 9). Segundo Lorenzi (2000), a falsa-murta possui as seguintes características:

**Características gerais** – árvore perenefolia, de 5-7m de altura e 4-6 m de largura de copa, de tronco ereto com reintrâncias irregulares, revestido por casca fina, acinzentada, às vezes parda, com fissuras rasas. Ramagem numerosas, densa, formando copa arredondada compacta. Folhas compostas pinadas, alternas, dispostas espiraladamente, com 7-10 m folíolos alternos, de textura firme, verde-escuros, brilhantes, ovalados, de ápice agudo, de 2-4 cm de comprimento. Inflorescências dispostas na extremidade dos ramos, em panículas curtas, formadas no decorrer do ano todo, com flores de corola com cinco pétalas brancas, muito perfumadas. Frutos dispostos em cachos densos, do tipo drupa, pequenos, vermelhos, formados concomitantemente, não raro, com as flores. A raiz é tipo pivotante.

**Usos** – árvore de copa densa muito ornamental, é freqüente na arborização de ruas e utilizada para a formação de cercas-vivas; tolerante a podas. Planta de lento crescimento, contudo muito resistente a condições adversas de solo e clima.



**Figura 9** - Falsa murta (*Murraya paniculata*).





**Figura 11** - Localização das amostras selecionadas para estudo.

**Fonte:** [www.maps.google.com.br](http://www.maps.google.com.br)

- **Coleta dos dados**

Os dados foram coletados durante o período de inverno de 2009 nos dias 29/08, 30/08 e 06/09, totalizando 3 dias coletados. Para leitura dos dados, os horários de coleta adotados foram às 9:00, 12:00, 15:00 horas, por não haver a possibilidade de dispor os equipamentos em períodos mais longos por questão de segurança, uma vez que se trata de uma área central da cidade com tráfego intenso tanto de pedestres quanto de veículos. Neste período, o tempo na cidade de Londrina encontrava-se estável, céu claro, possibilitando a coleta dos dados nos três horários estabelecidos e em dias seguidos sem a interferência de céu nublado.

- **Metodologia aplicada para coleta dos dados**

Em cada espécie foram fixados dois termômetros de globo, sendo um disposto ao sol e outro no interior da sombra proporcionada pela espécie em medição, distribuídos da seguinte maneira:

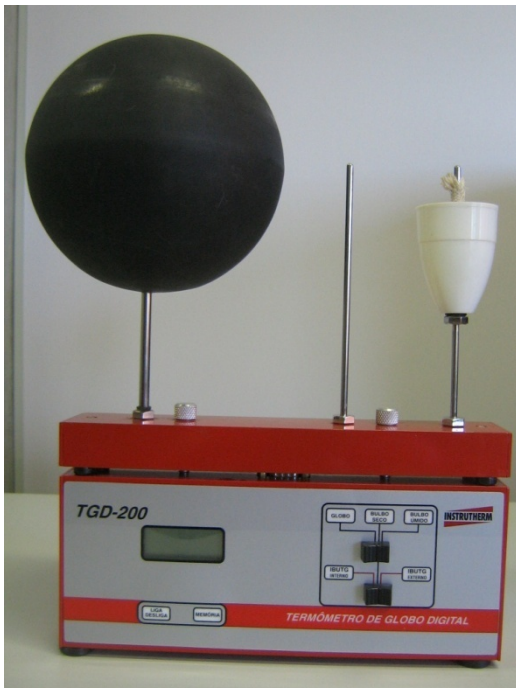
- 1 termômetro de globo a uma distância do tronco de 1,5 metros no interior da sombra proporcionada pela espécie, a uma altura de 1,20 metros do chão;
- 1 termômetro de globo exposto ao sol, a uma altura de 1,20 metros do chão;

O tempo de coleta de cada uma das espécies foi de 20 minutos para cada uma delas, totalizando a medição completa em 1 hora.

- **Parâmetros analisados e respectivos equipamentos**

Os parâmetros ambientais analisados foram: temperatura de bulbo seco (Tbs) e temperatura de globo (Tg) utilizando-se os seguintes equipamentos:

- Para a obtenção das variáveis de temperatura de bulbo seco (Tbs) e temperatura de globo (Tg) exposto a sombra da árvore, foi utilizado o termômetro de globo digital TGD-200 da marca Instrutherm (ver Figura 12).
- Para a obtenção das variáveis de temperatura de bulbo seco (Tbs) e temperatura de globo (Tg) exposto ao sol, foi utilizado o termômetro de globo digital TGD-50 tipo Pt 100, também da marca Instrutherm (ver Figura 13).



**Figura 12** - Termômetro de globo da Instrutherm modelo TGD 200.



**Figura 13** - Termômetro de globo digital da Instrutherm modelo TGD-50 tipo Pt 100.

Antes da coleta de dados os equipamentos foram aferidos da seguinte forma: fez-se uma medição em um ambiente controlado termicamente e observou-se durante um período de 4 horas em um dia que corresponderam aos resultados da 1° a 4° hora, e outro período também de 4 horas em outro dia que corresponderam, aos resultados da 5° a 8° hora. As diferenças de valores dos dados de temperatura estão descritos na Tabela 2 de aferição de resultados de aferição dos equipamentos utilizados na coleta de dados.

**Tabela 2** - Resultado de aferição dos termômetros de globo utilizados na coleta de dados.

<b>AFERIÇÃO DOS TERMÔMETROS DE GLOBO</b>						
	<b>TGD – 50 (1)</b>		<b>TGD – 200 (2)</b>		<b>Diferença (1-2)</b>	
	<b>Tg</b>	<b>Tbs</b>	<b>Tg</b>	<b>Tbs</b>	<b>Tg</b>	<b>Tbs</b>
<b>1° hora</b>	27.4	27.6	24.5	24.7	2.9	2.9
<b>2° hora</b>	26.6	26.3	24.3	24.3	2.3	2.0
<b>3° hora</b>	27.4	27.0	24.4	24.1	3.0	2.9
<b>4° hora</b>	27.6	28.0	24.7	25.0	2.9	3.0
<b>5° hora</b>	29.3	28.5	25.9	26.0	3.4	2.5
<b>6° hora</b>	28.7	28.4	26.0	26.0	2.7	2.4
<b>7° hora</b>	28.4	25.9	25.4	28.3	3.0	2.4
<b>8° hora</b>	28.3	27.4	25.6	24.8	2.7	2.6
				<b>Média</b>	<b>2.8</b>	<b>2.6</b>

### 3.2 Metodologia da 2° etapa: determinação das características da edificação térrea a ser estudada

- **Seleção e escolha do local e da edificação térrea**

A partir do segundo objetivo específico deste trabalho, que é determinar o benefício térmico de elementos paisagísticos em edificação térrea, partiu-se para a escolha do local e da edificação modelo que atendesse os requisitos:

- Ser térrea;
- Ter os quatro recuos livres de edificação.

Desta forma, a edificação possui todas as variáveis que se quer por em discussão quanto à consideração dos materiais de vedação para avaliá-la quanto à presença da vegetação. Assim, a análise contempla o distanciamento de recuos e as características construtivas, que aqui são consideradas como sendo aquelas relativas às propriedades físicas dos materiais de construção usados e de projeto arquitetônico (proporção entre áreas de piso e

de aberturas). Dessa forma, poderá se comprovar a influência da presença do elemento paisagístico inserido no entorno na resposta térmica da edificação, como parâmetros de avaliação importantes e indispensáveis na avaliação representativa da qualidade térmica das habitações.

A edificação térrea a ser tomada como parâmetro para a simulação pertence ao conjunto habitacional São Vicente Palotti, localizado na região leste da cidade de Londrina a uma distância de 5 Km do centro da cidade. A escolha desta edificação térrea deve-se ao fato de já ter sido objeto de estudo em trabalhos realizados recentemente, e também porque muitas das unidades habitacionais encontram-se sem alterações de projeto, ampliações ou reformas.

O Conjunto São Vicente Palotti apresenta três tipologias diferentes de unidades unifamiliares térreas. A primeira tipologia apresenta-se recuada nas duas laterais do lote (tipo 1). A segunda (tipo 2) e a terceira tipologia (tipo 3) apresentam-se encostadas no alinhamento lateral direito do lote e o que as difere é a disposição do telhado: inclinação para frente e para os lados, respectivamente. A tipologia 2 apresenta-se em maior quantidade no conjunto. Todas as tipologias possuem os mesmos tipos de materiais de vedação, portanto características térmicas semelhantes.

O estudo proposto deseja determinar o benefício térmico que cada uma das três espécies selecionadas irá proporcionar no interior da edificação.

- **Características da edificação térrea**

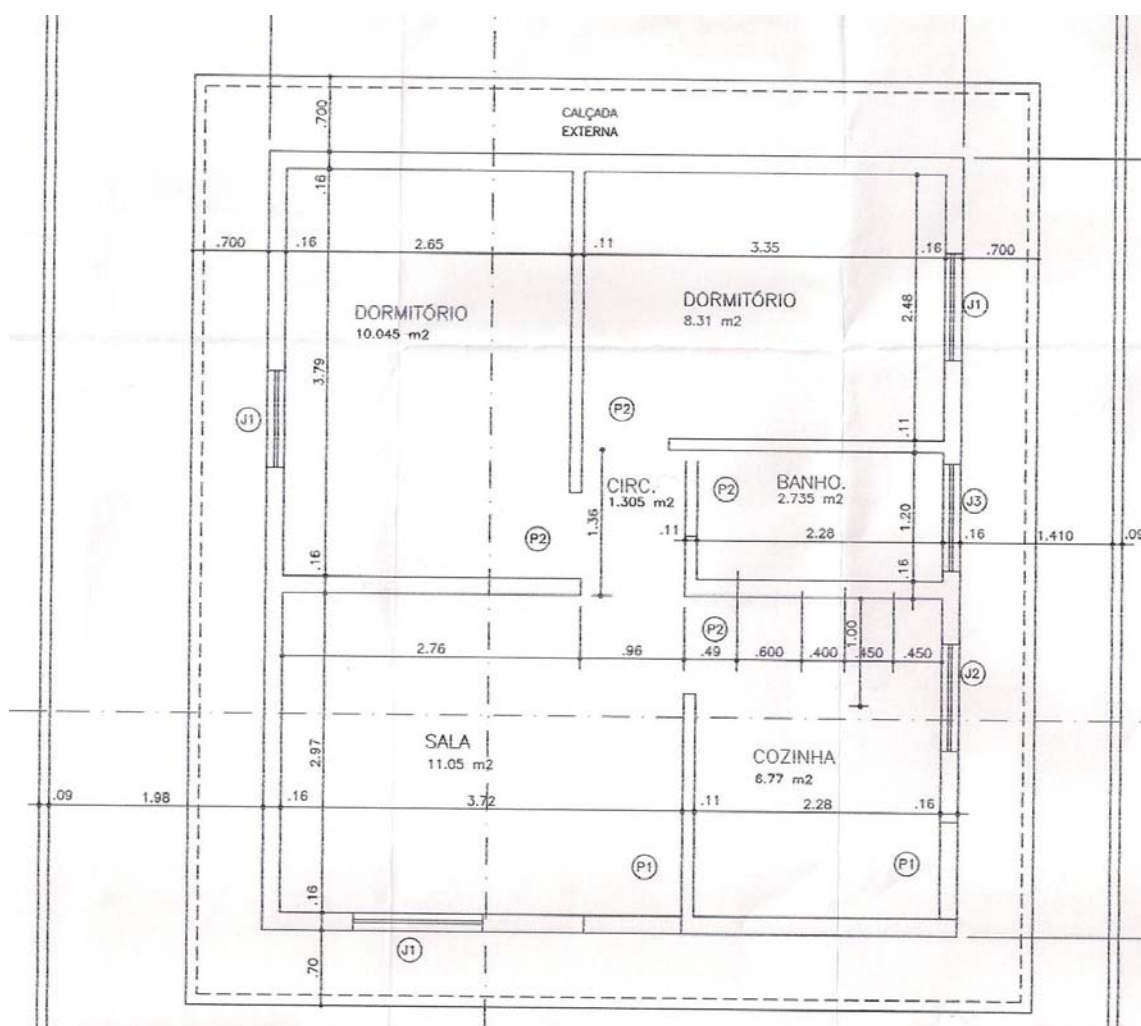
Para dar suporte às avaliações pelos métodos e normas adotados para estudo, foi feita a caracterização das edificações levando-se em conta os seguintes aspectos:

- Propriedades físicas dos materiais usados nas coberturas e paredes e área de aberturas em relação à área do piso;
- Recuos frontal e laterais.

Na caracterização construtiva das unidades habitacionais foi utilizado o programa de desenho Autocad, máquina fotográfica digital, plantas dos projetos residenciais fornecidos pela COHAB (2009), e memorial descritivo, obtido junto a construtora responsável pela obra.

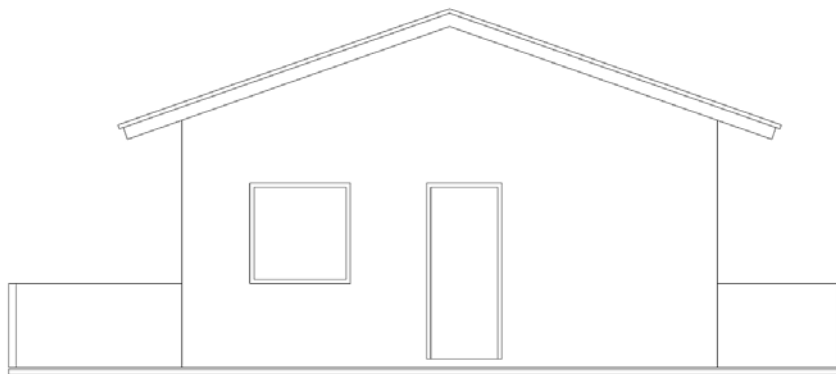
O modelo simulado neste trabalho foi a unidade habitacional tipo 1, representada na Figura 14, possui 46,55 m<sup>2</sup>, implantada em um terreno de 10 metros de largura por 25 metros de comprimento. As paredes são constituídas de tijolo cerâmico furado (14x19cm), rebocadas nos dois lados por uma camada de 1,2cm e revestidas com tinta látex cor branca e bege, nas áreas externas e internas, respectivamente.

As áreas úmidas, caracterizadas pela cozinha e banheiro, são revestidas internamente por revestimento cerâmico. O piso é constituído por uma camada de 5cm de contra piso em concreto, 3cm de cimento alisado e revestido por piso cerâmico.



**Figura 14** - Planta Baixa da casa tipo 1.

Fonte: COHAB, 2009.



**Figura 15** - Elevação frontal da casa tipo 1.  
**Fonte:** COHAB, 2009.

A cobertura em duas águas é composta por telhas cerâmicas com inclinação de 30% (Figura 15), estrutura de madeira e laje maciça de concreto (9cm), rebocada na parte inferior com emboco de 2cm e revestida por tinta látex na cor bege. Os muros de divisa possuem nas duas laterais e na divisa do fundo, altura de 1 m. e na divisa frontal uma mureta de 0.40 m.

As aberturas encontram-se voltadas para frente e para as laterais do terreno, conforme ilustrado na Figura 17. As janelas dos dormitórios são de ferro do tipo de correr, vedado com vidro transparente de 3mm e veneziana metálica pintada na cor chumbo. A janela da sala é de ferro do tipo de correr, vedada por vidro transparente de 3 mm. As janelas da cozinha e banheiro são de ferro do tipo basculante, e vedado com vidro martelado 3mm.



**Figura 16** - Fachada da edificação de tipologia 1.

O modelo da tipologia 1 possui sala, cozinha e 2 dormitórios, pé direito de 3m e área edificada de 46.55 m<sup>2</sup>, cobertura de telha de fibrocimento com forro de madeira,

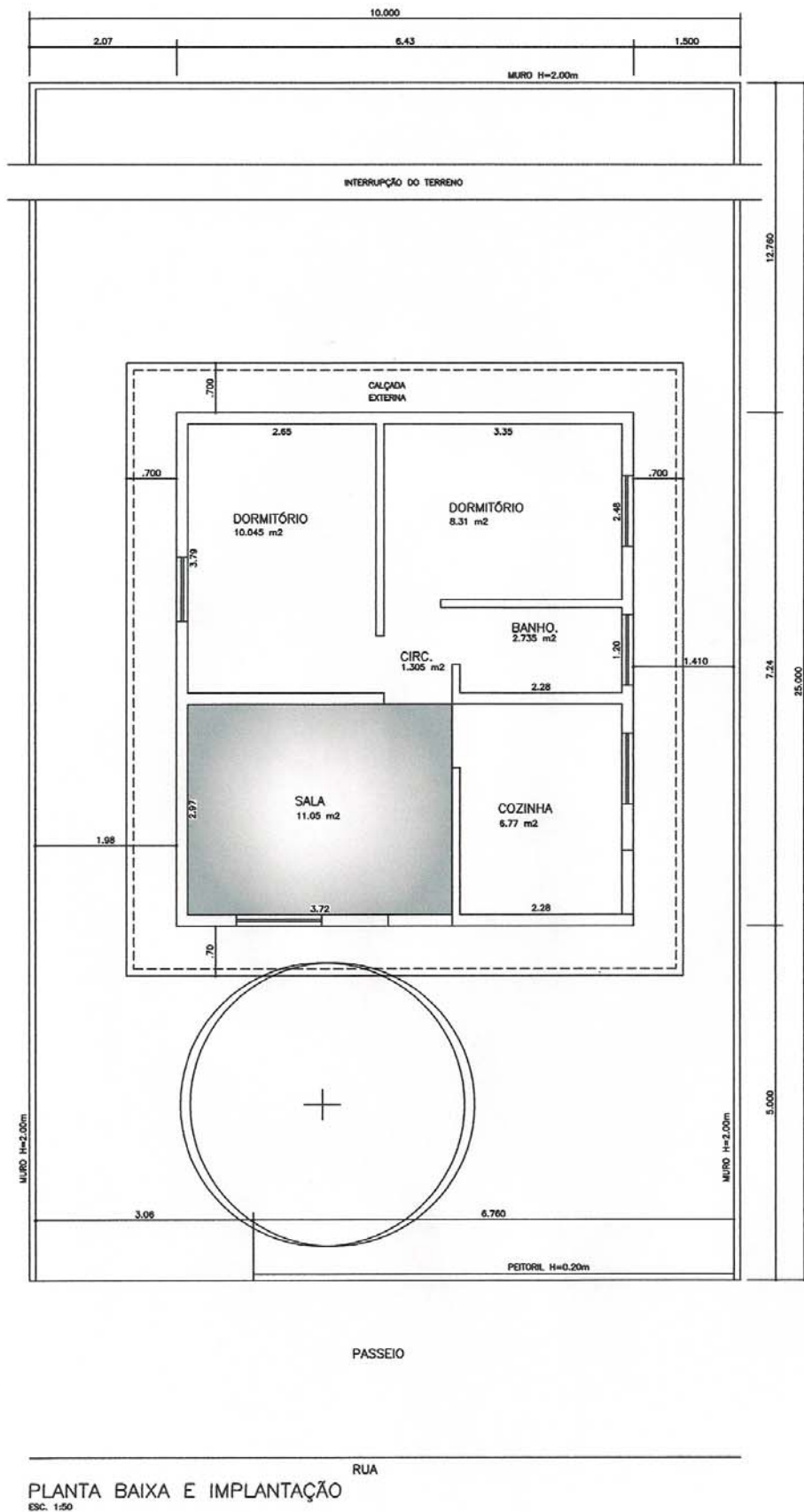
paredes de tijolos maciços rebocados e possui as quatro laterais livres de edificações como muros ou proteções solares (Figura 16).

### **3.3 Metodologia da 3ª etapa: simulação**

Determinar o benefício térmico de elementos paisagísticos em edificação térrea a partir de simulação computacional é o terceiro objetivo específico deste trabalho. Assim, a primeira observação foi levantar os limites para trabalhar com a disposição das espécies dentro da locação da edificação no terreno de 10,00 x 25,00. Os recuos laterais são estreitos sendo de um lado de 1,98 m e do outro 1,41 m. Desses recuos, pode-se subtrair uma calçada de 0,70 m existente ao redor da residência limitando os espaços laterais. O lado maior serve de passagem para veículos para o fundo do terreno, ficando assim impossível de trabalhar com vegetação neste lado. Já os recuos frontal e fundo são considerados de bom espaçamento sendo de 5,00 m e 12,76 m respectivamente. O recuo do fundo serve para futura ampliação da edificação e o recuo frontal é o único possível de implantar vegetação. Estes limites podem ser observados na Figura 17. Por este motivo a simulação foi feita somente em um único ambiente, a sala, que se encontra voltado para o recuo frontal. Devido à limitação do espaço para trabalhar com a vegetação dentro do recuo frontal, e por todas elas possuírem uma estatura mediana, decidiu-se determinar uma localização de implantação fixa, sendo esta exatamente o meio deste recuo, e o meio do ambiente sala, conforme Figura 17.

O objetivo da simulação neste trabalho é obter dados horários para o ano inteiro. Além disso, pretende-se conhecer a resposta da edificação frente a influência pelas características das espécies arbóreas inseridas no entorno próximo a edificação como elemento de sombreamento. A modelagem iniciou-se pela situação sem espécie arbórea, utilizado neste estudo como fonte de comparação às outras situações com presença de espécie arbórea.

O período de simulação trabalhado inicia-se em 1º de janeiro e termina em 31 de dezembro. Para o local de simulação, foi determinada a cidade de Londrina, com latitude -23,3°, longitude -51,22, fuso horário -3 e altitude 576 metros.



**Figura 17** - Planta Baixa e Implantação genérica da casa tipo 1.  
**Fonte:** COHAB, 2009.

Os dados de entrada para a simulação com o programa Energyplus foram obtidos por Weiller (2008) que seguem:

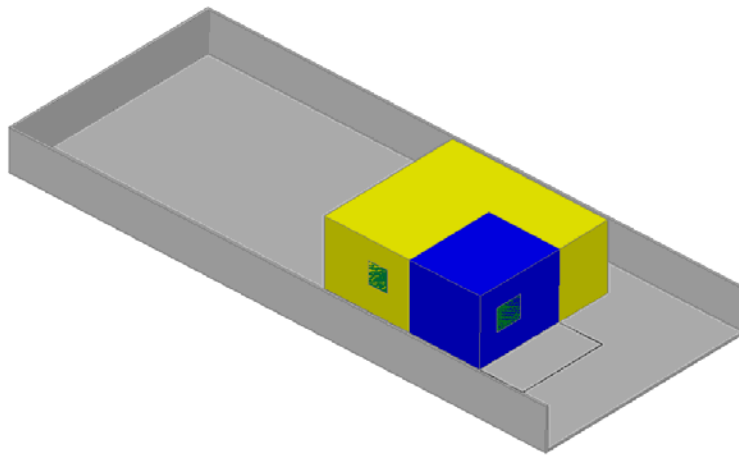
- **Variáveis ambientais externas**

Os dados climáticos do ambiente externo equivalentes ao período de medição nas habitações foram obtidos junto a uma estação de medição montada no Campus da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Esses dados apresentam a TBS e UR do ambiente externo, registrados com intervalos de 1 hora.

- **Variáveis ambientais internas**

Para a determinação dos **materiais construtivos**, foram observadas as propriedades térmicas como rugosidade, espessura, condutividade, densidade, calor específico e absorvância; caracterizando materiais como concreto, argamassa, telha, etc. Também foram caracterizadas as propriedades termo-físicas das camadas de ar presentes em cerâmicas e telhados. Os tipos de vidros utilizados nos fechamentos foram detalhados de acordo com suas propriedades térmicas e ópticas. Após a caracterização individual de cada material, formaram-se as composições dos fechamentos, tais como, pisos, paredes, coberturas e janelas.

Quanto à **geométrica das zonas térmicas**, levou-se em consideração o projeto arquitetônico e o comportamento individual de cada ambiente, no intuito de modelar com a maior veracidade possível as condições térmicas e de entorno existentes no conjunto habitacional. Para isso, a unidade habitacional foi modelada considerando-a uma zona térmica única, chamada de ZONA 1 (com destaque em amarelo). O ambiente onde se realizaram as medições in loco, a sala, foi modelado separadamente, denominado de ZONA 2 (em azul). Dessa forma, considerou-se, padrões de uso e ocupação diferenciados para as zonas 1 e 2. Os muros laterais e de fundo, bem como a projeção do lote no solo também foram considerados como superfícies de transferência de calor, modelados como ZONA 3 (em cinza), no objetivo de simular a influência do sombreamento causado pelos muros de divisa e a incidência dos ventos predominantes na unidade de estudo, conforme mostra a Figura 18.



**Figura 18** - Divisões das zonas térmicas.

Para as **cargas térmicas** optou-se, para a zona 1, uma carga térmica com taxa de 800W, representando o consumo de equipamentos gerais como eletrodomésticos, chuveiro, lâmpadas, etc. Na zona 2 foi considerada uma taxa de 300W, já que os equipamentos presentes nesse ambiente se resume basicamente a lâmpada, televisor, DVD e Aparelho de som. O padrão de uso de equipamentos elétrico adotado diferenciou os dias da semana do fim de semana, considerou-se o seguinte esquema: para segunda a sexta-feira, entre 22:00 – 06:00, definiu-se um uso de 15% da carga térmica devida aos equipamentos como geladeira, estabilizadores, ventiladores e iluminação externa. Entre 7:00 – 17:00 e 20:00 – 21:00, adotou-se valor de 28% de uso, ficando o horário das 18:00 – 20:00, com utilização máxima dos equipamentos elétricos, 100%; devido ao uso dos chuveiros elétricos. Para sábados, domingos e feriados, alterou-se a utilização entre 11:00 -17:00 e 20:00 - 22:00 para 35%. Este esquema foi mantido para o ano todo e determinou o padrão de uso de equipamentos elétricos das zonas 1 e 2.

Optou-se em adotar um **padrão de ocupação** de 4 pessoas na zona 1 e 4 pessoas na zona 2, por tratar-se da sala. Para assegurar uma análise mais precisa da influência das variáveis de entorno optou-se o seguinte esquema: de segunda a sexta-feira, entre 18:00 – 7:00, a ocupação foi considerada de 100%, sendo que entre 8:00 - 18:00 a ocupação foi reduzida em 50%, por ser o horário de trabalho dos moradores. Para os sábados, domingos e feriados consideraram-se ocupação de 100% para o dia todo. Este esquema foi mantido para o ano todo e determinou o padrão de ocupação das zonas 1 e 2.

Utilizou-se a **taxa metabólica** máxima de 120 W/m<sup>2</sup>, para atividades como trabalho doméstico; e mínima de 46 W/m<sup>2</sup> para atividade de repouso (ISO 7730, 1994). Para a zona 1, entre 22:00-5:00, considerou-se nível de atividade metabólica igual a 46 W/m<sup>2</sup>; entre

6:00-11:00 e 17:00-21:00, taxa de 80 W/m<sup>2</sup>; e entre 12:00-16:00, taxa de 120 W/m<sup>2</sup>. Para a zona 2, caracterizada pelo ambiente de estar, utilizou-se nível de atividade metabólica igual a 46 W/m<sup>2</sup> entre 7:00-22:00. Esses esquemas foram mantidos para todos os dias do ano.

Estimou-se uma **taxa de ventilação** de 0,49 m<sup>3</sup>/s para as zonas 1 e 2 (ventilação cruzada). Para os **esquemas de infiltração de ar**, utilizou-se valor máximo, 100%, quando as janelas encontravam-se abertas e 0% quando estavam totalmente fechadas, além de diferenciar as infiltrações no período de inverno e de verão. Para o esquema de infiltração diária de verão, foi adotado 15% de infiltração entre 21:00-5:00, 60% entre 6:00-17:00 e 100% entre 18:00-20:00. Para o esquema de infiltração diária de inverno, adotou-se 0% de infiltração entre 21:00-11:00, 30% entre 12:00-18:00 e 20% entre 19:00-20:00.

Foi utilizado um esquema diário de **velocidade do ar externo incidente em cada zona térmica** com valores em m/s, válido para as zonas 1, 2 e 3. Com base em Lamberts *et al* (1997), adotou-se velocidade do ar de 1m/s, de 23:00-6:00, 0,8m/s entre 7:00-17:00 e 1,2m/s entre 18:00-22:00. Esse padrão foi aplicado a todos os dias da semana e todo o período do ano.

O **padrão de isolamento de vestimenta** foi feito separadamente para o período de verão e de inverno. No esquema de verão, adotou-se isolamento de 0,2 clo para todas as horas e dias da semana; e foi aplicado para o período entre 01/09 e 30/04. Para o esquema de inverno, adotou-se isolamento de 0,52 clo para todas as horas e dias da semana; considerando o período entre primeiro de Maio (01/05) e trinta e um de Agosto (31/08).

O arquivo climático usado nas simulações, do tipo TRY, foi montado utilizando os dados climatológicos da estação de medição da UEL, com dados de temperatura e umidade do período de 01/09/2006 a 31/08/2007 e radiação do ano climático de referência do ano de 1996, obtido pela estação meteorológica do IAPAR conforme BARBOSA, 1999. Este arquivo climático foi utilizado pelo programa de simulação Energyplus versão 4.0 como um dos dados de entrada, possibilitando a simulação das variáveis ambientais internas.

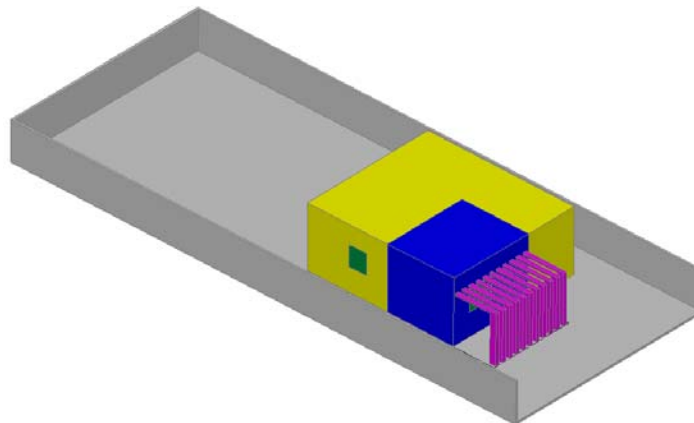
- **Simulação das Variáveis Ambientais Internas**

Para a simulação considerou-se quatro situações que buscam analisar a influência da variação da densidade foliar no desempenho térmico da edificação térrea. Sendo três relacionados com a vegetação, mais uma situação sem vegetação. Para a variabilidade de

orientação da edificação determinada pela posição do terreno no loteamento, foram consideradas as duas mais críticas, a nordeste (NE) por se tratar de um período da manhã onde a insolação é mais intensa e a noroeste (NO) por se tratar de um período de maior insolação à tarde. As demais orientações não foram objetos de simulação por não apresentarem grandes problemas de ganho térmico no interior das edificações, uma vez que a latitude de Londrina permite esse descarte. Modelou-se primeiramente a situação sem vegetação, considerada como balizador dos resultados obtidos. A partir deste modelo, foram feitas alterações na modelagem das outras três situações, com variações de densidade foliar.

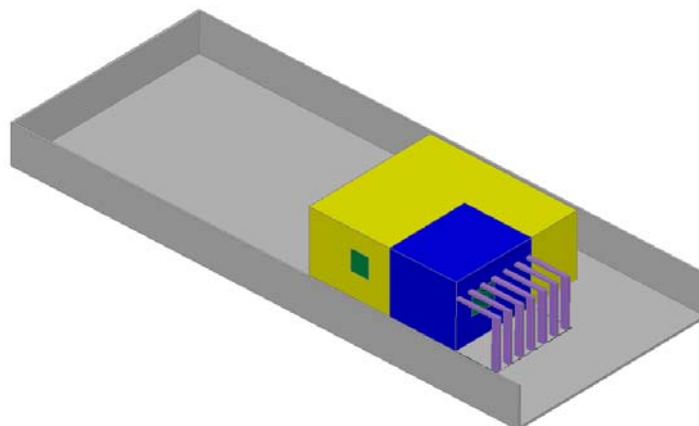
Devido à dificuldade de se obter dados de permeabilidade (para ventilação, iluminação e passagem da radiação solar) para as espécies arbóreas, consideradas no trabalho, resolveu-se representar o elemento vegetal por sombreamento semelhante ao obtido por elemento construtivo pergolado, com maior e menor espaçamento, representando a maior ou menor densidade foliar das espécies arbóreas. Esse elemento de sombreamento foi inserido ao volume da ZONA 2, conforme pode ser visto nas Figuras 19, 20 e 21. Para a situação sem vegetação, não foi inserido o elemento de sombreamento.

Na situação com a espécie arbórea Falsa murta, que possui uma copa mais densa, modelou-se o pergolado com um espaçamento mais fechado, comparando à copa mais fechada e um sombreamento maior, como mostra a Figura 19.



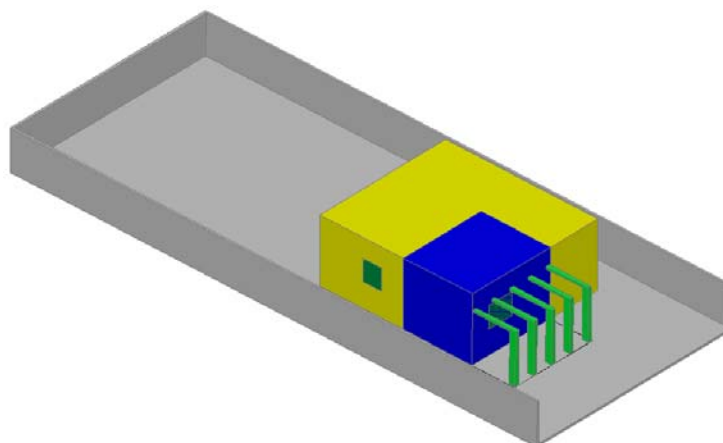
**Figura 19** - Situação Falsa murta.

Para a situação da espécie arbórea Pata de vaca, utilizou-se espaçamento mediano entre as pérgolas, pois nos resultados obtidos pela medição da TBS das espécies, esta apresentou-se com a característica de densidade foliar média. Verifica-se o posicionamento das pérgolas na Figura 20.



**Figura 20** - Situação Pata de vaca.

Na situação da espécie arbórea Aroeira salsa, utilizou-se maior espaçamento entre as pérgolas, baseando-se nos resultados obtidos pela medição da TBS das espécies, onde esta espécie apresentou-se com uma densidade foliar um pouco mais rala que a espécie arbórea Pata de vaca. Este esquema está representado na Figura 21.



**Figura 21** - Situação Aroeira salsa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo aborda as discussões sobre os resultados obtidos com as medições de Tg e Tbs das três espécies arbóreas selecionadas para compor o estudo, dos dados gerados por simulação através do programa Energyplus versão 4.0 e dos dados gerados pelo programa Analysis Bio versão 2.1.5. A análise dos dados foi organizada de forma a objetivar a identificação da espécie arbórea que melhor representa qualidade térmica para o ambiente interno da edificação térrea.

### 4.1. Medição de Temperatura de globo (Tg) e Temperatura de bulbo seco (Tbs) das três espécies arbóreas

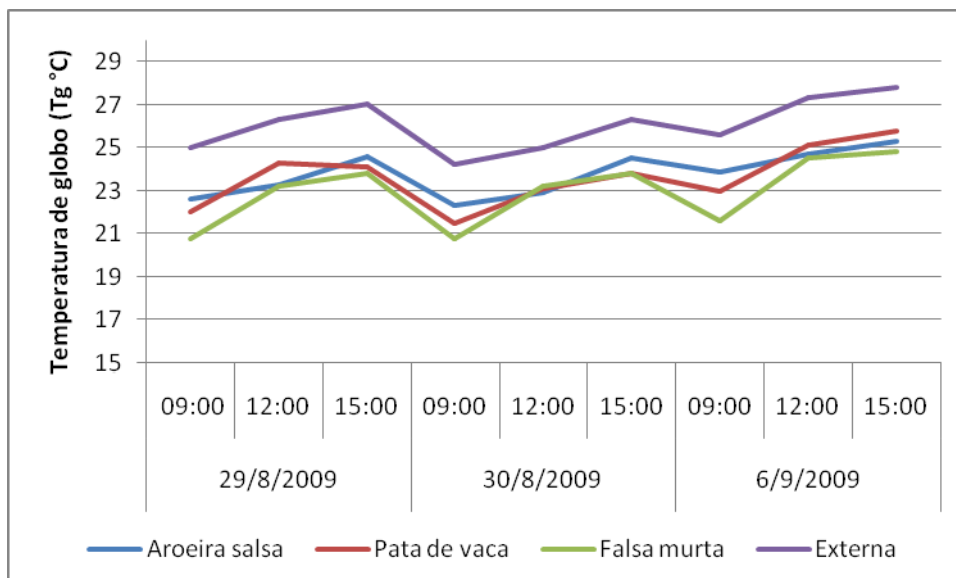
A medição da Tg e Tbs das três espécies arbóreas foram realizadas nos dias 29/08/2009, 30/08/2009 e 06/09/2009 nos horários das 9:00, 12:00 e 15:00 horas, com céu claro.

Ao analisar os dados obtidos na tabela 3, observa-se que entre as espécies estudadas, aquela que apresenta melhor desempenho quanto à atenuação da radiação é Falsa murta, com aproximadamente 1,9 °C de diferença entre as demais espécies arbóreas.

**Tabela 3** - Temperaturas de globo (TG) e bulbo seco (TBS) das três espécies arbóreas em °C.

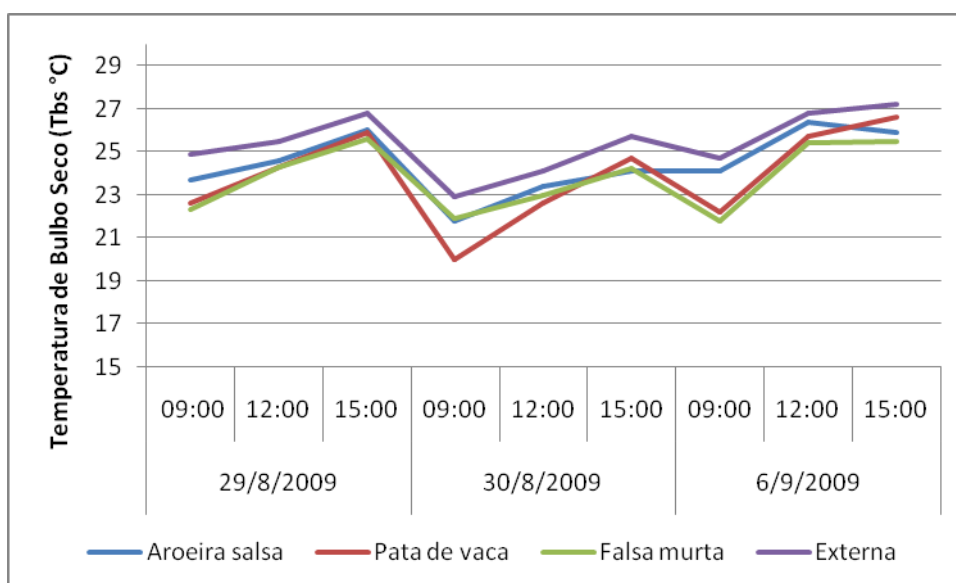
TG e TBS													
Horários		9:00				12:00				15:00			
Temperaturas		TG		TBS		TG		TBS		TG		TBS	
Espécie	Dia	sol	sbr	sol	sbr	sol	sbr	sol	sbr	sol	sbr	sol	sbr
Aroeira salsa	29/08/2009	27.8	22.6	27.5	23.7	29.1	23.3	28.1	24.6	29.8	24.6	29.4	26.0
	30/08/2009	27.0	22.3	25.5	21.8	27.8	22.9	26.7	23.4	29.1	24.5	28.3	24.1
	06/09/2009	28.4	23.9	27.3	24.1	30.1	24.7	29.4	26.4	30.6	25.3	29.8	25.9
Falsa murta	29/08/2009	27.8	20.8	27.5	21.1	29.1	22.2	28.1	23.0	29.8	23.5	29.4	24.3
	30/08/2009	27.0	20.6	25.5	21.9	27.8	22.2	26.7	23.0	29.1	23.0	28.3	24.2
	06/09/2009	28.4	21.6	27.3	21.8	30.1	24.5	29.4	25.4	30.6	24.8	29.8	25.5
Pata de vaca	29/08/2009	27.8	22.0	27.5	22.6	29.1	24.3	28.1	24.1	29.8	24.1	29.4	25.9
	30/08/2009	27.0	21.5	25.5	20.0	27.8	23.1	26.7	22.6	29.1	23.8	28.3	24.7
	06/09/2009	28.4	23.0	27.3	22.2	30.1	25.1	29.4	25.7	30.6	25.8	29.8	26.6

De acordo com os resultados obtidos para os três dias de medição, nota-se nas figuras 22 e 23, que a espécie arbórea Falsa murta apresentou nos três horários, uma média mais baixa que as demais espécies com a medição na sombra tanto na Tg quanto na Tbs. Acredita-se que este resultado deve-se pela alta densidade de massa foliar.



**Figura 22** - Temperatura de globo (Tg °C) das três espécies arbóreas.

Verifica-se também que, nas horas mais quentes do dia, entre 12:00 e 15:00 horas, a espécie Aroeira salsa, apresentou as maiores médias das duas temperaturas analisadas. A espécie arbórea Pata de vaca comparada com a espécie citada anteriormente, apresenta poucas variações de temperaturas de globo e bulbo seco, porém com médias mais baixas que esta.



**Figura 23** - Temperatura de bulbo seco (Tbs °C) das três espécies arbóreas.

Comparando todos os resultados da atenuação da radiação das árvores estudadas, as espécies Falsa murta, apresentou os melhores resultados. A espécie com os menores valores foi a Aroeira salsa. Ficando a espécie Pata de vaca como intermediária nestes resultados, porém muito próximos da última espécie citada.

Nota-se que nos horários medidos mais quentes do dia, ou seja, 12:00 e 15:00 horas, as temperaturas apresentaram poucas variações se comparadas com as medições realizadas no horário das 9:00 horas. Supõe-se que este fato se deva por este período os meios materiais que se encontram no entorno das vegetações analisadas ainda não terem recebido grandes cargas térmicas da radiação solar.

#### **4.2 Ferramenta de simulação Energyplus**

A ferramenta de Simulação Energyplus gerou dados de temperatura interna (T<sub>bs</sub> °C) e Umidade relativa (UR %). Os resultados foram inseridos no programa Analysis Bio que resultou em relatórios e cartas bioclimáticas, que possibilitou a realização de análises das temperaturas internas apresentadas nas situações com e sem espécies arbóreas na proximidade da edificação térrea para as faces NE e NO pelo período do ano inteiro.

#### **4.3 Análise dos resultados da temperatura interna pela ferramenta de simulação Analysis Bio**

A carta bioclimática proposta por Givoni (1973) está dividida em 12 zonas de estratégias bioclimáticas, sendo uma delas a zona de conforto, na qual o ambiente é considerado aceitável termicamente. A zona bioclimática proposta utiliza um diagrama psicrométrico que relacionam temperatura do ar (T<sub>bs</sub> °C) e a umidade relativa (UR %), estes dados foram gerados pela ferramenta de simulação Energyplus.

Com o auxílio da ferramenta de simulação Analysis Bio, plotou-se os dados de desempenho térmico de cada uma das quatro situações de estudo referentes ao ano inteiro

para as faces NE e NO. A tabela 4, mostra os resultados do relatório de saída do Anlysis Bio para a face NO durante o ano inteiro.

**Tabela 4** - Relatório de saída do Analysis Bio: simulação dados horários (%) para a face NO.

ANO INTEIRO	Externo (E)	Sem Vegetação (SV)	Pata de vaca (PV)	Aroeira salsa (AS)	Falsa murta (FM)
Conforto	35.8	37.6	62.4	55.6	67.0
Desconforto geral	64.2	63.1	37.3	42.9	33.4
Desconforto por frio	31.6	19.1	12.02	12.93	20.3
Desconforto por calor	32.6	43.9	24.7	25.3	20.2

A Face NO é considerada uma face crítica para a Latitude que Londrina apresenta. Compreende aproximadamente os horários de 14:00 as 16:00 horas. Para esta face, a tabela 4 mostrou que a Falsa murta apresenta 67.0 % de conforto para a edificação. Já a situação sem vegetação apresentou 37.6% de conforto. Isto mostra que a melhor situação é a presença da vegetação.

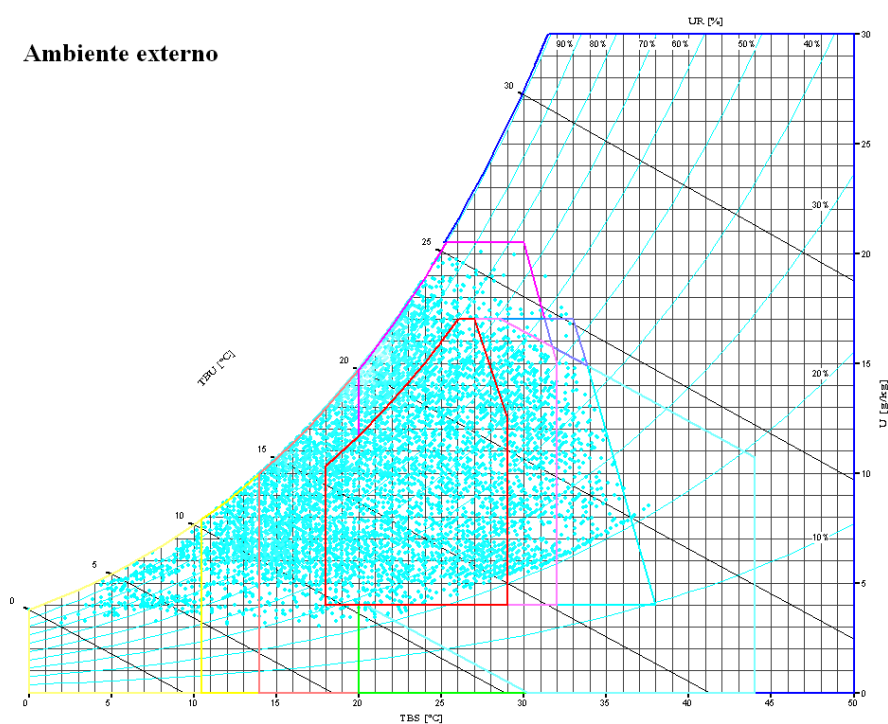
Entre as espécies arbóreas a Aroeira salsa é a que apresenta maior desconforto (42.9%), mas a pior situação é a sem vegetação que apresenta 63.1% de desconforto geral, se comparados com o desconforto externo, que é de 64.2%, a Aroeira salsa registra um benefício climático interno significativo. Entre todas as situações a Falsa murta apresenta melhor desempenho térmico com 33.4% de desconforto geral. A espécie que apresentou pior resultado por desconforto por frio foi a Falsa murta (20.3%), devido a alta densidade de massa foliar, esta espécie tem a capacidade de barrar a incidência da radiação solar na fachada da edificação, desta forma não sendo possível aquecer o ambiente interno da edificação no período de inverno. Já a Pata de vaca apresenta uma qualidade térmica de 12% de desconforto por frio.

Na situação desconforto por calor a situação sem vegetação apresenta o pior resultado com 43.9%. Entre as espécies arbóreas a Falsa murta apresenta melhor desempenho térmico com apenas 20.2% de desconforto por calor. As espécies Pata de vaca e Aroeira salsa apresentam resultados muito aproximados, sendo 24.7 e 25.3% respectivamente. Isto comprova que ambas possuem massa foliar média.

Pelos resultados obtidos, pode-se notar que a Falsa murta apresenta-se como uma espécie de boa qualidade térmica para a face NO no período de verão onde a massa foliar densa obstrui a incidência da radiação solar na fachada da edificação térrea, amenizando o clima interno de uma forma satisfatória. Já para o período de inverno, na face NO, a espécie

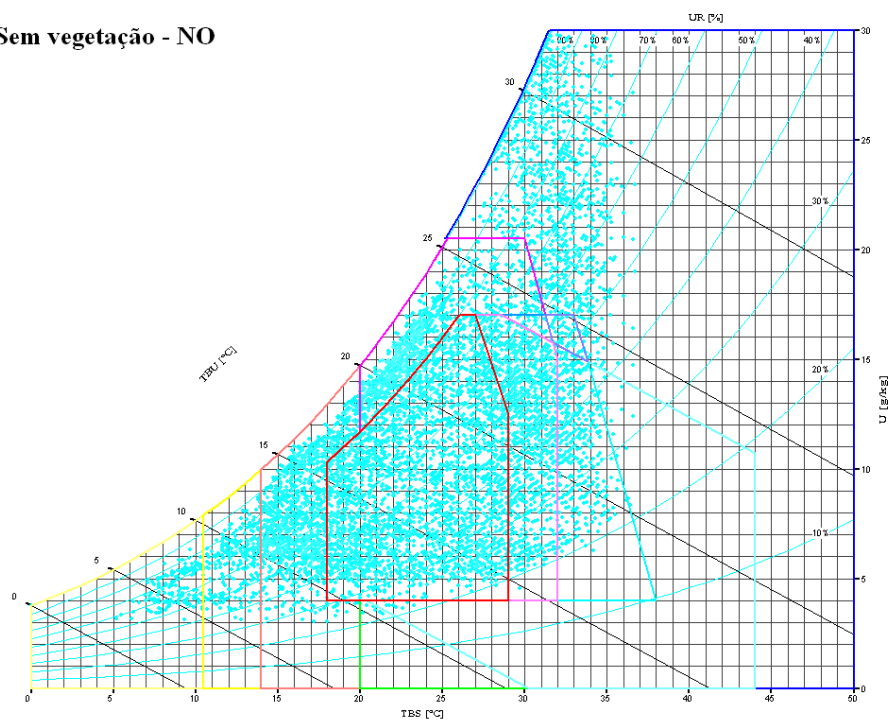
Falsa murta não se mostrou apropriada, pois o ambiente interno apresentou resultado de 20.3%.

Em qualquer das hipóteses registradas na Tabela 4 e nas cartas bioclimáticas (Figuras de 25 a 28), para a situação da face NO, observa-se que em geral todos os resultados ressaltaram que a vegetação como elemento de sombreamento disposto próximo a edificações térreas, de uma forma ou outra apresenta melhoria na qualidade térmica. A figura 24 apresenta a carta bioclimática do ambiente externo que serve como referência tanto para a face NO quanto a NE.



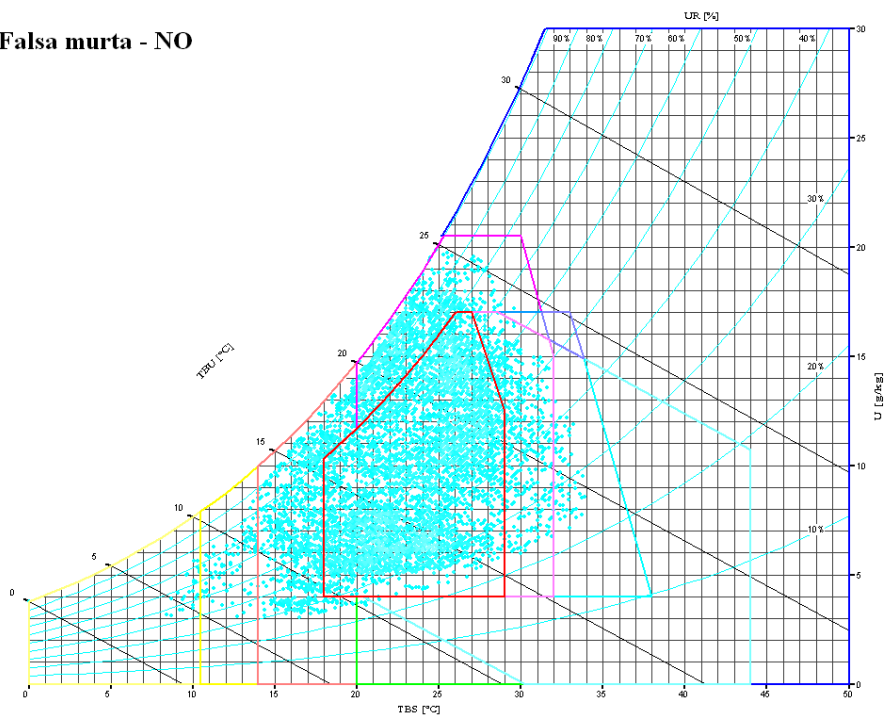
**Figura 24** - Carta bioclimática do ambiente externo válido como referência para todas as situações.

### Sem vegetação - NO



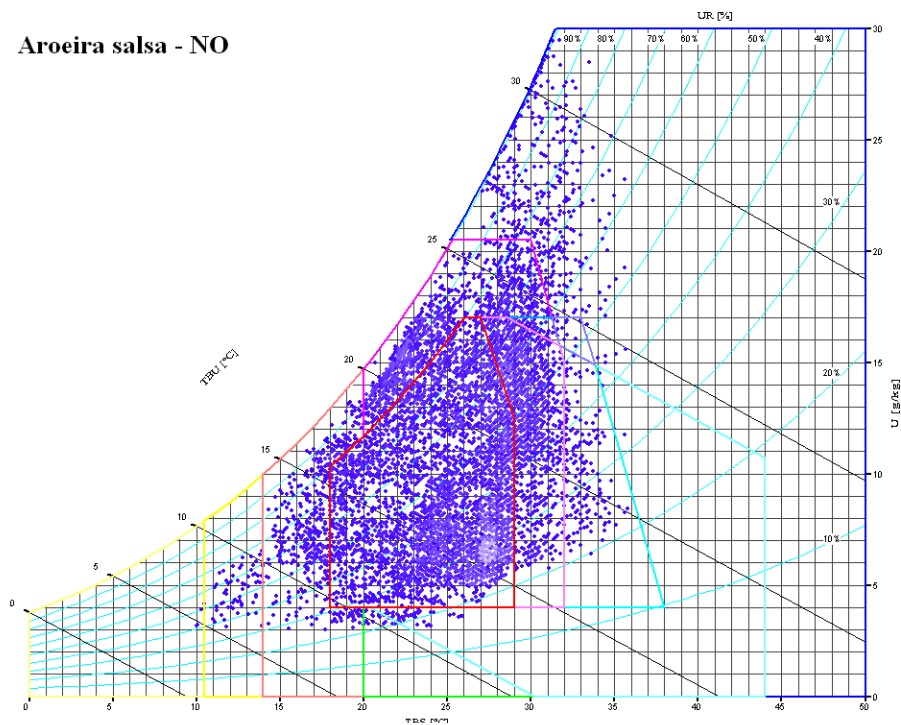
**Figura 25** - Carta bioclimática do ambiente interno referente à situação sem vegetação na face NO.

### Falsa murta - NO



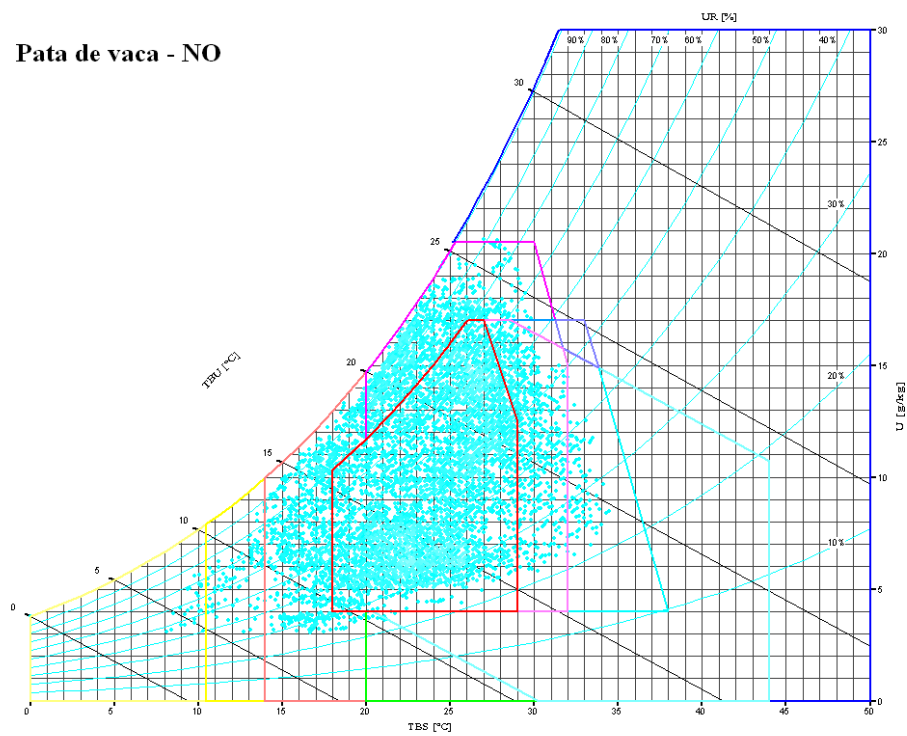
**Figura 26** - Carta bioclimática do ambiente interno referente à situação Falsa murta na face NO.

### Aroeira salsa - NO



**Figura 27** - Carta bioclimática do ambiente interno referente à situação Aroeira salsa na face NO.

### Pata de vaca - NO



**Figura 28** - Carta bioclimática do ambiente interno referente à situação Pata de vaca na face NO.

A tabela 5, mostra os resultados do relatório de saída do Anlysis Bio para a face NE durante o ano inteiro.

**Tabela 5** - Relatório de saída do Analysis Bio: dados horários (%) do ambiente interno para a face NE.

ANO INTEIRO	Externo (E)	Sem Vegetação (SV)	Pata de vaca (PV)	Aroeira salsa (AS)	Falsa murta (FM)
Conforto	35.8	50.7	68.4	68.4	69.7
Desconforto geral	64.2	49.1	31.6	31.5	30.3
Desconforto por frio	31.6	17.5	12.2	12.3	10.6
Desconforto por calor	32.6	31.6	19.4	20.9	18

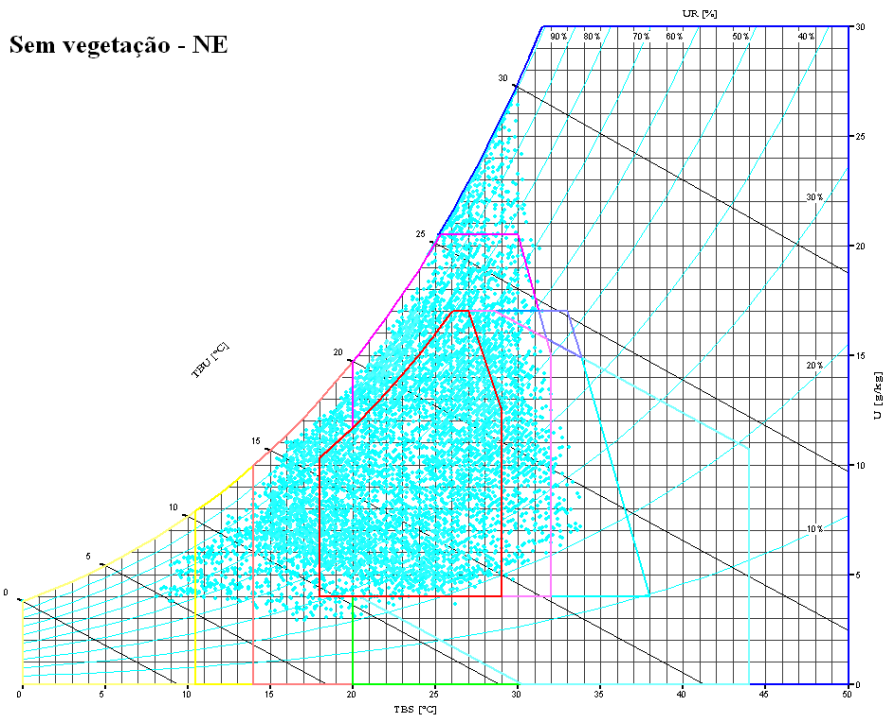
A face NE é privilegiada pelos horários da manhã, aproximadamente entre 9:00 e 10:30 horas, pois neste período a radiação solar ainda não apresentou total efeito de absorção pelos meios. A ventilação dominante, na maior parte do ano, para a cidade de Londrina, advém desta face. Para a situação de conforto, a espécie arbórea Falsa murta obteve o melhor resultado apresentando 69.7% de conforto comparado com o ambiente externo de 35.8%. As espécies Pata de vaca (68.4%) e Aroeira salsa (68.4%) apresentam resultados iguais, supõe-se que estes resultados devem-se ao fato que estas espécies apresentam densidade da massa foliar média.

Quanto ao desconforto geral, a Falsa murta novamente apresenta um bom desempenho térmico de apenas 30%, comparando-se com as espécies Pata de vaca (31.6%) e Aroeira salsa (31.5%) que também não apresentaram resultados diferenciados entre si, porém mantiveram a caracterização de espécies de densidade foliar média. Sendo assim, as três espécies podem ser indicadas para a face NE.

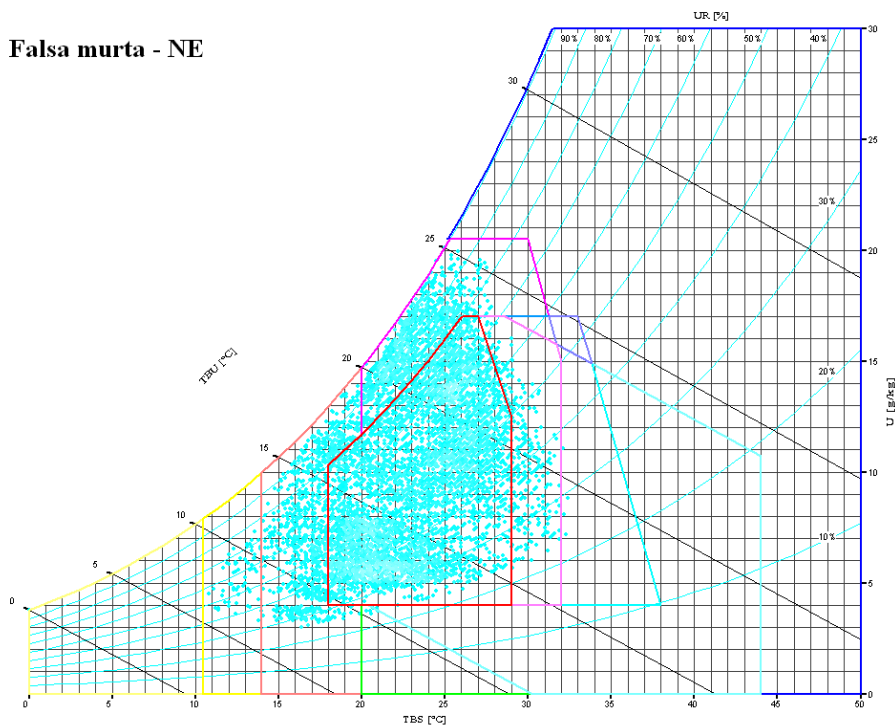
As três espécies apresentaram boa qualidade térmica para o quesito desconforto por frio para a face NE. A Falsa murta (10.3%) e a situação sem vegetação (17.5%) apresentaram uma diferença de 7.2%, demonstrando que a espécie arbórea na face NE ajuda a barrar a ventilação fria no período da manhã que incide na fachada da edificação térrea, ajudando a manter o ambiente interno mais aquecido.

Apesar da espécie arbórea Falsa murta, apresentar melhoria na qualidade térmica por desconforto por calor (18%), não é registrado uma diferença tão significativa com as demais situações Pata de vaca (19.4%) e Aroeira salsa (20.9%). Se comparada a média dos resultados das três espécies arbóreas com a situação sem vegetação (31.6%) e ambiente externo (32.6%) a diferença alcança uma média de 12.17% e 13.17% respectivamente.

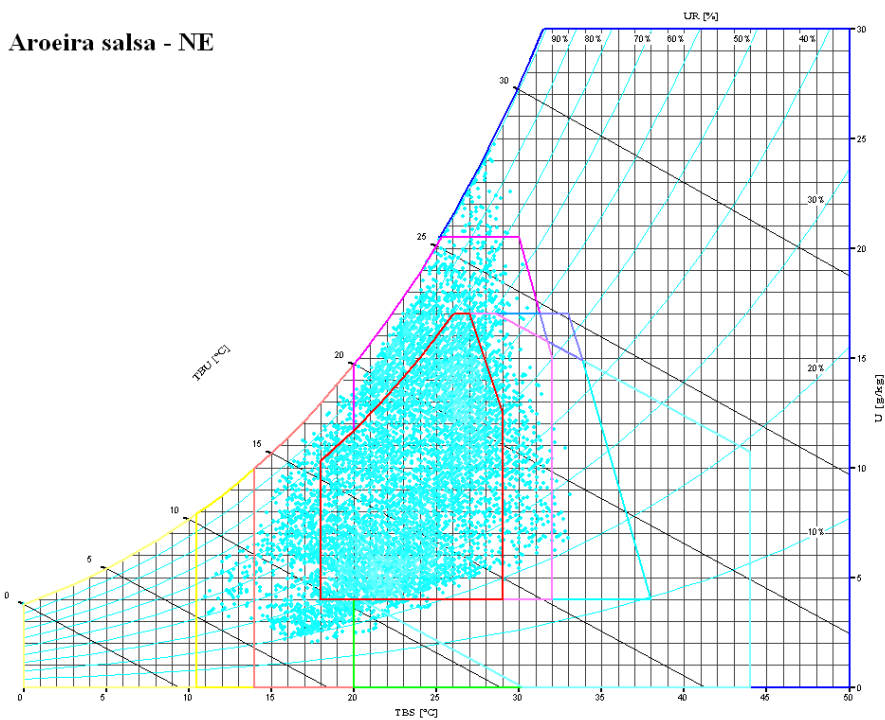
Nas figuras 29 a 32 são apresentadas as cartas psicrométricas de cada uma das quatro situações de estudo da face NE, ilustrando a dispersão dos dados obtidos por simulação nas 12 zonas de estratégias bioclimáticas no período de um ano.



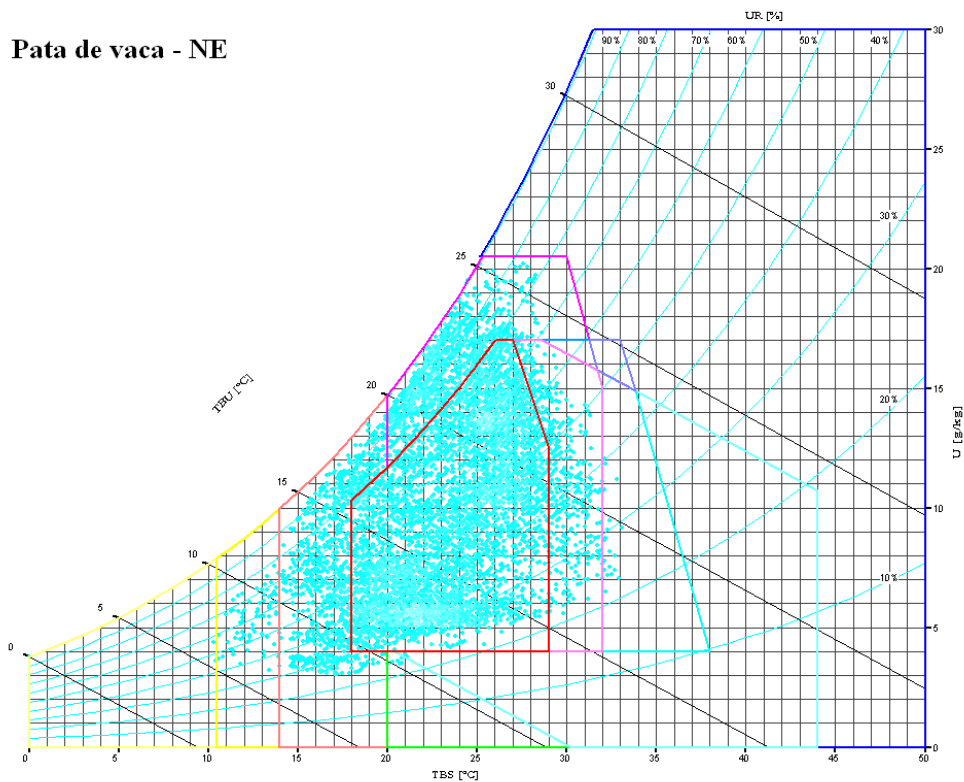
**Figura 29** - Carta bioclimática do ambiente interno com a situação Sem vegetação na face NE.



**Figura 30** - Carta bioclimática do ambiente interno com a presença do elemento de sombreamento Falsa murta na face NE.



**Figura 31** - Carta bioclimática do ambiente interno com a situação Sem vegetação na face NE.



**Figura 32** - Carta bioclimática do ambiente interno com a presença do elemento de sombreamento Pata de vaca na face NE.

A tabela 6, apresenta um resumo dos resultados a fins de comparação e análises mais precisas. Aqui é possível observar nitidamente que praticamente todas as situações obtiveram respostas térmicas semelhantes às registradas por medição *in loco* das espécies arbóreas.

**Tabela 6** - Comparação do relatório de saída do Analysis Bio: simulação dados horários (%) para NE e NO.

ANO INTEIRO	E	NE				NO			
		SV	PV	AS	FM	SV	PV	AS	FM
<b>Conforto</b>	35.8	50.7	68.4	68.4	69.7	37.6	62.4	55.6	67.0
<b>Desconforto geral</b>	64.2	49.1	31.6	31.5	30.3	63.1	37.3	42.9	33.4
<b>Desconforto por frio</b>	31.6	17.5	12.2	12.3	10.6	19.1	12.02	12.93	20.3
<b>Desconforto por calor</b>	32.6	31.6	19.4	20.9	18	43.9	24.7	25.3	20.2

Observou-se também que a situação que apresenta maior desconforto por frio entre as espécies arbóreas foi a Falsa murta, que apresentou 20.3% das horas de desconforto. Portanto, as melhores indicações para faces onde a insolação não é considerada crítica por grande exposição à radiação solar são as espécies Aroeira salsa e Pata de vaca. A espécie Falsa murta é a espécie mais indicada para a exposição na face NO onde a insolação é mais intensa no período da tarde, principalmente no verão. Devido às características físicas e biológicas que a Falsa murta apresenta, a capacidade de obstruir a radiação solar (não permitindo o aquecimento em demasia do ambiente interno das edificações térreas) torna-a mais viável para a face NO do que as demais espécies estudadas neste trabalho.

As espécies Pata de vaca e a Aroeira salsa, são de grande indicação para as faces onde se deve obstruir com moderação a radiação solar, pois ambas possuem densidade foliar média.

Os resultados demonstraram que a vegetação utilizada como elemento de sombreamento para as faces ressaltadas neste trabalho são satisfatórios, pois apresentam bom desempenho térmico e conseqüentemente melhoria no conforto do ambiente interno.

## 5 CONCLUSÃO

Quanto aos resultados obtidos com as medições da Tbs das três espécies arbóreas, pode-se concluir que a espécie que apresentou uma melhor qualidade térmica foi a Falsa murta (*Muraya paniculata*), vindo a seguir a espécie Aroeira salsa (*Schinus molle*) e a Pata de vaca (*Bauhinia forficata*) como as que possuem densidade foliar menos densa que a primeira.

As características morfológicas das espécies arbóreas estudadas, foi de suma importância na determinação da qualidade do sombreamento. As medições na primeira etapa da metodologia seguiram a tendência esperada, a única que mostrou resultados aparentemente diferente do esperado foi a espécie Aroeira salsa (*Schinus molle*), que apresentou características de espécies de densidade foliar média e não rala como se esperava. Já os resultados da espécie Falsa murta (*Muraya paniculata*), mostraram-se com variações de Tbs e UR significativas em relação as demais espécies, uma vez que esta possui como característica determinante a alta densidade foliar, formato das folhas e cores mais fortes que as demais, mostrando assim que a estrutura foliar interfere na obtenção dos resultados. A espécie Pata de vaca (*Bauhinia forficata*) por exemplo, possui praticamente a mesma densidade de massa foliar e cor que a espécie Aroeira salsa (*Schinus molle*), porém a diferença está no tamanho e estrutura da folha da primeira.

Em relação aos resultados obtidos, com a ferramenta de simulação Energyplus, das espécies arbóreas como elemento de sombreamento de edificação, conclui-se que a presença da vegetação próxima à edificação faz diferença no desempenho térmico de edificação térrea mais significativa no período de verão. A presença da espécie Falsa murta (*Muraya paniculata*) no ambiente externo próxima a edificação, promoveu uma melhor qualidade térmica no interior, chegando a apresentar uma média de 1,9 °C de temperatura interna menor que a temperatura externa, e no inverno interfere nas condições climáticas internas deixando-o com temperaturas mais baixas por obstruir mais radiação solar tornando o ambiente mais frio. Supõe-se que este fato deve-se à densidade foliar considerada alta. Para o período de inverno, a espécie que apresenta melhor resultado de qualidade térmica interna foram as espécies Aroeira salsa (*Schinus molle*) e Pata de vaca (*Bauhinia forficata*).

Conclui-se também que a ferramenta de simulação Energyplus, não apresenta parâmetros suficientes para inserir dados, ou avaliar a presença da vegetação

relacionada com a edificação, como elemento de sombreamento. É um fator muito difícil de aplicar no tratamento da vegetação, pois há exigências de quanto à permeabilidade da massa arbórea, e modelagem. Este último fica praticamente impossível, pois poderia ser modelada como um elemento sólido e então deixaria de apresentar as aberturas entre as folhas (permeabilidade) para a passagem da ventilação e radiação solar.

De acordo com as análises realizadas para localização das espécies arbóreas dentro do espaço disponível do terreno, conclui-se que a melhor localização para implantar as espécies arbóreas aqui estudadas é no recuo frontal para as faces NO e NE. Uma espécie arbórea implantada na face S (sul) implicaria em menor incidência luminosa e menor temperatura (face fria no período de inverno) no interior da edificação, para a latitude da cidade de Londrina.

Por fim, conclui-se que este estudo contribuiu para dar suporte aos projetistas quanto à elaboração do projeto de edificação visando integrar a massa arbórea no seu entorno.

## **RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como continuidade a este trabalho de pesquisa, sugere-se que se desenvolvam os seguintes estudos:

- Obter representações das características dos elementos de vegetação como: absortância, transparência, permeabilidade, fator solar, evaporação e fotossíntese para entrada de dados na ferramenta de simulação Energyplus;
- Trabalhar com a intensidade luminosa da vegetação, com densidade foliar alta e baixa, para analisar a eficiência luminosa de edificação térrea considerando a presença desse elemento no entorno.
- Desenvolver metodologias para medições da transparência destas ou outras espécies arbóreas.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Arone; PIMENTA, João; BALTORÉ, Alexandre. **Análise computacional da demanda energética de climatização de edifício**. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE AIRE ACONDICIONADO, CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN, 8. 2005, Montevidéo.

AXARLI, Kleo; EMORFOPOULOU, Ekaterini. **Energy efficient vegetation design for temperate climate**. In: 18<sup>o</sup> International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Florianópolis. 2001.

BARBOSA, Miriam Jerônimo et. al. (Orgs.). **Arquivos climáticos de interesse para a edificação nas regiões de Londrina e Cascavel (PR)**. Londrina: Editora da UEL, 1999. v. 1. 62 p.

BERNATZKY, Aloys. **The contribution of trees and green spaces to a town climate. Energy and Buildings**, v.5, p.1-10,1982.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes, SABBATINI, Fernando Henrique. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 2008. 19 p.

BUENO, Carolina Lotufo. **A Influência da Vegetação no Conforto Térmico Urbano e no Ambiente Construído**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 2003. (Tese de Doutorado).

BUENO, Carolina Lotufo. **Estudo da Atenuação da Radiação Solar Incidente por Diferentes Espécies Arbóreas**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 1998. (Dissertação de Mestrado).

COHAB-LD, COMPANHIA DE HABITAÇÃO DE LONDRINA. Disponível em: <<http://www.cohabld.com.br/>>. Acesso em 29 jun. 2009.

D'ORNELLAS, J.; BARROS, T.; ZAMPARONI, C. **Ambiente Urbano e o Clima Local**. Trabalhos apresentados ENGEOMT 2004 UFMT .

ELETROBRÁS. Disponível em: <[www.eletronbras.gov.br](http://www.eletronbras.gov.br)>. Acesso em: 21 jul. 2009.

ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY. **Energy Plus**. Disponível em: <[www.eere.energy.gov/buildings/energyplus](http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus)>. Acesso em: 19 ago. 2009. \_\_\_\_\_. Lecture 1: An Overview of Simulation and EnergyPlus In: Material prepared by GARD Analytics, Inc. and University of Illinois at Urbana-Champaign under contract to the National Renewable Energy Laboratory. Disponível em:

ENERGYPLUS. **Getting Started With Energyplus: Everything You Need to Know About Running Energyplus.** Energyplus, set., 2007a.

ENERGYPLUS. **Energyplus Engineering Reference. The Reference to Energyplus Calculations.** Energyplus, set., 2007b.

FROTA, Anésia Barros, SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico.** 2ed. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

FURTADO, Adma Elias. **Simulação e análise da utilização da vegetação como anteparo às radiações solares em uma edificação.** Rio de Janeiro: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ, 1994. 144p. (Dissertação, Mestrado em Ciências de Arquitetura).

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture.** 2ed. London: Applied Science, 1981.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. IAPAR. **Relatório Técnico. 2009.** Disponível em: <<http://www.iapar.br/publicacoes/downloads.html>> Acesso em: 15 mai. 2009.

IZARD, Jean-Louis, GUYOT, Alain. **Tecnología y Arquitectura – Arquitectura bioclimática.** México, D.F.: Gustavo Gili, 1983. 191p.

KAUFFMAN, Marina Gonzalez de; MACHADO, Maria V.; BARROSO, Helen. **Quantifying incidence of the vegetation on the microclimatic variables in hot – humid climates: “the cují tree”.** In: 18<sup>o</sup> International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Florianópolis. 2001.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R.. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo: PW, 1997. 192 p. Il.

LAMBERTS, R; et al. **Desempenho Térmico de edificações:** Apostila do curso de Engenharia Civil, ECV 5161. 4 edição. Florianópolis: UFSC, 2006. 110 p. Disponível em:

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo.** São Paulo: Hucitec, 1985.

LORENZI, Harri. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil.** Vol. 1. 3.ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2000.

LORENZI, Harri. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas.** Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003.

MCPHERSON, E.G. **Planting Design for Solar Control. Energy Conserving Site Design.** E. G. Washington, D.C.: American Society of Landscape Architects, 1984.

MASCARÓ, Lúcia, MASCARÓ, Juan Luis. **Vegetação Urbana.** 1<sup>o</sup> ed: L. Mascaró, J. Mascaró, Porto Alegre: 2002. 242 p. : Il.

MENEZES, Milton serpa. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo-RS**. 2006. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

OLGYAY, Victor. **Design with climate – bioclimatic approach to architectural regionalism**. 4º ed. Princeton, New Jersey, USA, 1973.

PAPST, Ana Lígia et al. **Eficiência energética e uso racional da energia na edificação**. Florianópolis: LABSOLAR, 2005. 121 p.

PARKER, D. S.; BARKASZI, S. F. Jr. **Roof solar reflectance and cooling energy use: Field research results from Florida**. Energy and Building. 25: 105-115, 1997.

PILLAR, Vallerio De Patta. 1995. **Clima e vegetação**. UFRGS, Departamento de Botânica. Disponível em: < <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/>>. Acesso em 15 jun. 2009. Primeira edição 12.05.2008 válida a partir de 12.05.2010 ISBN 978-85-0700700-5

RAMOS, Greici. **Análise da iluminação natural calculada por meio do programa Energyplus**. Florianópolis 2008. Dissertação UFSC.

RIGITANO, Roberta. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, 2004. (Dissertação de mestrado).

ROGORA, Alessandro; NERI, Maddalena. **Green solar architecture At Legnano: renovation of an old factory with an ecological and low energy approach**. In: 18º International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Florianópolis. 2001.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. São Paulo: Projeto, 1988.

SATTLER, M. A., SHARPLES, S., PAGE, J.K. **The geometry of the shading of buildings by various tree shapes**. Solar Energy, v. 38, n. 3, p. 187-201, 1987.

SATTLER, Miguel Aloysio. **Medições de campo da transmissão da radiação solar através de árvores**. In: Encontro Nacional de Conforto Térmico no Ambiente Construído, 1, 1992, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 1991.

SIMPSON, J. R.; McPHERSON, E. G. **Simulations of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento**. Davis: Pacific Southwest. Research Station, USDA Forest Service, c/o Department of Environment Horticulture, University of California, 1997.

TORRE, José Manuel Ochoa de La. **La vegetación como instrumento para el control microclimático**. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona. Departament de Construccions Arquitectòniques I. Programa de Doctorado Àmbits de Recerca de La Construcció i l'Energia a l'Arquitectura. Barcelona, Octubre de 1999.

WEILLER, Giovana Cristina Buso. **A influência de variáveis de entorno no desempenho térmico de habitações de interesse social.** Londrina: Departamento de Engenharia civil da Universidade Estadual de Londrina, 2008. (Dissertação de Mestrado).

ZACHARIAS FILHO, Fauze; ZANETTI, Valdir Z.; PRIETO, Maria L. A.. **Vegetação e paisagismo: especificações da edificação escolar de primeiro grau.** 2 ed. São Paulo: FDE, 1996. 168p.