

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO NATURAL DE DUAS ESPÉCIES
ARBÓREAS NA TEMPERATURA DE EDIFICAÇÕES**

MARIO CARLOS RODRIGUES AYRES

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

Botucatu, SP
Dezembro, 2004

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU**

**INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO NATURAL DE DUAS ESPÉCIES
ARBÓREAS NA TEMPERATURA DE EDIFICAÇÕES**

MARIO CARLOS RODRIGUES AYRES

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Targa

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Paula Pinheiro Padovese Peixoto

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu, UNESP, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

Botucatu, SP
Dezembro, 2004

“Toda árvore é sagrada. Ama-a. Ama-a na glória matutina e reza: Bendita sejas por tuas frondes benfazejas, pelos cânticos triunfais, por tuas flores e perfume...por tuas sombras maternais”

Ricardo Gonçalves.

Aos meus pais Manoel (*in memorian*) e Albertina
pelo amor e incentivo.

À minha esposa, Judite e meus filhos Rodrigo,
Alexandre e Lucas pela presença e apoio.

Dedico

AGRADEÇO

A **Deus** pela vida

Ao professor Dr. Luiz Antonio Targa, pela amizade, colaboração e orientação.

A professora Dr^a Paula Pinheiro Padovesse Peixoto pela co-orientação, colaboração e amizade.

A UNESP-Botucatu em especial ao Curso de Pós-graduação em Agronomia - Energia na Agricultura pela oportunidade.

Aos professores e amigos Omar Daniel, Manoel Carlos Gonçalves e Rafael Tavares Peixoto pela colaboração.

Aos professores do curso de energia em especial a Maria de Lourdes Conte, Odivaldo Seraphim e Nelson Teixeira pela colaboração e amizade construída.

Aos funcionários e técnicos da Embrapa Agropecuária Oeste, em especial a Cláudio Lazarotto e Jovair Martins pelo empenho e dedicação na construção dos resultados deste trabalho.

A todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. RESUMO	01
2. SUMMARY	03
3. INTRODUÇÃO.....	05
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	09
4.1 A ação da radiação solar	09
4.1.1 Espectro da radiação solar.....	10
4.1.2 Radiação solar e o filtro atmosférico.....	10
4.1.3 Energia irradiada	13
4.1.4 Radiação difusa	14
4.1.5 Radiação de onda longa.....	15
4.2 Clima.....	15
4.2.1 Variáveis climáticas.....	16
4.2.1.1 Radiação solar.....	16
4.2.1.2 Temperatura do ar.....	17
4.2.1.3 Umidade atmosférica.....	18
4.2.1.4 Circulação atmosférica	20
4.3 O homem e o meio ambiente	21

4.3.1 Conforto térmico	22
4.3.2 Variáveis de conforto térmico	31
4.4 A vegetação.....	32
4.4.1 Árvore e o balanço térmico	35
4.4.2 Aspectos relativos ao vegetal	36
4.4.2.1 Interação com a radiação solar	37
4.4.2.2 Transpiração Vegetal	38
4.5 Efeitos físicos da vegetação	39
4.5.1 Controle da radiação solar	40
4.5.2 Controle do vento	41
4.5.3 Controle da umidade	42
4.5.4 Controle do microclima.....	43
4.6 Benefícios da vegetação.....	43
4.6.1 Redução da temperatura	45
4.6.1.1 Consumo de energético.....	46
4.7 Sombreamento natural	47
4.7.1 Sombreamento arbóreo ao ar livre	47
4.7.2 Sombreamento em edificações	49
4.8 A Vegetação e a edificação.....	52
4.8.1 Carga térmica de radiação na edificação	52
4.8.2 Interação entre a vegetação e edificação	54
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	57

5.1 Caracterização da área de estudo	57
5.2 Caracterização da vegetação	58
5.2.1 Levantamento e seleção das espécies a serem analisadas	58
5.2.2 Caracterização das espécies selecionadas	60
5.2.2.1 Característica geral das espécies selecionadas	61
5.2.3 Seleção do local de realização do levantamento	62
5.2.4 Métodos de medições	63
5.2.4.1 Módulo de edificações	64
5.2.4.2 Instrumentos de medições	64
5.2.4.3 Épocas de medições e fixação dos equipamentos	66
5.2.4.4 Equações utilizadas para o calculo das medidas	67
5.2.4.5 Análise estatística dos dados	70
5.2.5 Medições de campo	72
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
6.1 Avaliação na sibipiruna (<i>Caesalpinia peltophoroides</i>)	75
6.1.1 Médias horárias dos dias analisados no sombreamento da sibipiruna	75
6.1.2 Médias dos dias analisados no sombreamento da sibipiruna	77
6.1.3 Analise estatística para a sibipiruna	78
6.2 Avaliação no flamboyant (<i>Delonix régia</i>)	81
6.2.1 Médias horárias dos dias analisados no sombreamento do flamboyant	81
6.2.2 Médias dos dias analisados no sombreamento do flamboyant	82
6.2.3 Analise estatística para o flamboyant	84

7. CONCLUSÕES	89
8. SUGESTÕES	91
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
10. APÊNDICE	98

LISTA DE QUADROS

Quadros	Páginas
1. Espécies arbóreas mais utilizadas na arborização urbana pela Prefeitura Municipal de Dourados / MS	58
2. Características das espécies arbóreas analisadas	75
3. Valores médios horários das temperaturas de globo negro (Tg), temperatura bulbo seco (Ts) e temperatura de bulbo úmido (Tu) no interior do módulo localizado à sombra da Sibipiruna e do módulo localizado ao sol.....	76
4. Valores médios horários de índices de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) no interior do módulo localizado à sombra da Sibipiruna e do módulo localizado ao sol e valores médios de velocidade do vento.....	77
5. Valores médios diários de temperatura de globo (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), temperatura de bulbo úmido (Tu), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) do módulo localizado à sombra da Sibipiruna e do módulo localizado ao sol.....	78
6. Resumo da análise de variância dos dados da Sibipiruna, mostrando os testes dos efeitos fixos para as variáveis temperatura de globo negro (Tg) e temperatura de bulbo seco (Ts), com base em modelos mistos.....	78
7. Resumo da análise de variância dos dados da Sibipiruna, mostrando os testes dos efeitos fixos para as variáveis, índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), com base nos modelos mistos.....	79

8. Correlações (r = de Pearson) para as variáveis, temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), para a Sibipiruna.....79
9. Equações de regressão ajustadas para as variáveis de temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) em função do horário de coleta, para a Sibipiruna.....80
10. Valores médios das variáveis, temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) para a Sibipiruna.....80
11. Valores médios horários das temperaturas de globo negro (Tg), temperatura bulbo seco (Ts) e temperatura de bulbo úmido (Tu) no interior do módulo localizado à sombra do Flamboyant e do módulo localizado ao sol.....81
12. Valores médios horários de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR), no interior do módulo localizado à sombra do Flamboyant e do módulo localizado ao sol e valores de velocidade do vento.....82
13. Valores médios diários de temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), temperatura de bulbo úmido (Tu), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) do módulo localizado à sombra do Flamboyant e do módulo localizado ao sol.....83
14. Resumo da análise de variância dos dados do Flamboyant, mostrando os testes dos efeitos fixos para as variáveis, temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), com base em modelos mistos.....84

15. Resumo da análise de variância dos dados do Flamboyant, mostrando os testes dos efeitos fixos para as variáveis, índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), com base em modelos mistos.....84
16. Correlações (r = de Pearson) para as variáveis temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) para o Flamboyant.....85
17. Equações de regressão ajustadas para as variáveis temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), em função do horário de coleta para o Flamboyant.....85
18. Valores médios das variáveis, temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) para o Flamboyant.....86

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Páginas
1. Classificação da energia pelo comprimento de onda.....	10
2. Balanço da radiação solar	11
3. Interação da radiação solar com atmosfera.....	13
4. Transmissão de calor no meio	18
5. Movimento do ar devido a rotação terrestre	21
6. Metabolismo e trocas térmicas	24
7a. Equilíbrio térmico do homem	25
7b. Processos de perda e ganho de calor	26
8. Carta bioclimática.....	29
9. Porcentagem estimada de insatisfeitos em função do voto médio estimado	31
10. Desempenho térmico dos vegetais em relação aos materiais inertes	33
11. Interação da vegetação com a radiação solar.....	38
12. Controle da radiação solar pela vegetação	40
13. Controle do vento pela vegetação.....	41
14. Forma de árvores	51
15. Balanço de energia na edificação	53
16. Sibipiruna (<i>Caesalpinia peltophoroides</i>).....	59
17. Flamboyant (<i>Delonix regia</i>)	59
18. Ipê roxo (<i>Tabebuia impetiginosa</i>)	59

19. Oiti (<i>Licania tomentosa</i>).....	59
20. Pata de vaca (<i>Bauhinia longifolia</i>)	59
21. Skinus moles (<i>Schinus molle</i>).....	59
22. Mapa do local de realização da pesquisa.....	63
23. Módulo de edificação	64
26. Psicrômetro	66
27. Suporte metálico para fixação	66
28. Termômetro de globo negro	66
29. Anemômetro	66
30. Sibipiruna (<i>Caesalpinia peltophoroides</i>).....	73
31. Flamboyant (<i>Delonix regia</i>)	73

1 RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi o estudo de diferentes espécies arbóreas quanto ao sombreamento e seus efeitos na temperatura de um ambiente construído, a partir de medições de temperaturas de globo e do ar, umidade relativa e velocidade do vento. A pesquisa foi desenvolvida na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Agropecuária Oeste, no município de Dourados-MS. Foram analisados o sombreamento de duas espécies arbóreas, a Sibipiruna (*Caelsalpinia peltophoroides*) e o Flamboyant (*Delonix regia*), quanto à atenuação da temperatura em ambientes internos, proporcionada pela sombra de cada uma das espécies, em edificações abertas.

Os dados foram coletados em dois módulos de edificação de madeira e cobertos com telhas de fibro-cimento, localizados ao sol e à sombra das espécies analisadas. Nestes módulos foram obtidos dados de temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo negro. Os dados de velocidade do vento foram obtidos na Estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste.

Com os dados obtidos foram calculadas as porcentagens de atenuação da temperatura para cada um dos módulos e as variações relativas das temperaturas do ar e de globo negro.

Avaliando-se os resultados obtidos, observou-se que o sombreamento natural produzido pela Sibipiruna proporcionou à sombra uma atenuação na temperatura de globo negro de 2,82°C e na temperatura do ar de 0,96°C menor em relação aos dados obtidos ao sol e, uma porcentagem de atenuação de 8.34 % e 3,16% respectivamente.

Analisando-se os resultados, observou-se que o sombreamento natural do Flamboyant produziu à sombra uma atenuação na temperatura de globo negro de 3,96°C e na temperatura do ar de 1,26°C menor em relação aos dados obtidos ao sol e, uma porcentagem de atenuação de 9.62% e 3,46% respectivamente.

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que os sombreamentos produzidos pelas duas espécies arbóreas analisadas proporcionaram atenuação das temperaturas alterando o microclima local.

Palavras chaves: Conforto térmico, Sombreamento natural, Vegetação e sombreamento.

INFLUENCE OF NATURAL SHADOWS OF TWO ARBOREAL SPECIES IN THE TEMPERATURE OF CONSTRUCTIONS. Botucatu, 2004, 115 p.

Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Mario Carlos Rodrigues Ayres

Adviser: Profº. Dr. Luiz Antonio Targa

Co-adviser: Profª. Drª. Paula Pinheiro Padovese Peixoto

2 SUMMARY

The objective of this research was to study different arboreal species in relation to the shading and its effects on temperature of a constructed environment, from measurements of temperatures of the globe and of the air, relative humidity and speed of the wind. The research was developed at Brazilian company of farming research/Embrapa Agropecuária Oeste, on Dourados City, Mato Grosso do Sul State. The shading of two arboreal species, Sibipiruna tree (*Caesalpinia peltophoroides*) and Flamboyant tree (*Delonix regia*) had been analyzed in relation to the attenuation of the temperature in internal environments, provided for the shade of each one of the species, in opened constructions.

The data had been collected in two modules of wooden construction and covered with asbestos-cement roofing tiles, located under the sun and in the shade of the analyzed species. In these modules, they had been gotten data of temperature of the air, relative humidity and temperature of the black globe. The data of speed of the wind had been gotten at Meteorological Station from Embrapa Agropecuária Oeste.

With the gotten data, the percentages of attenuation of the temperature for each one of the modules and the relative variations of the temperatures of the air and of the black globe had been calculated.

Evaluating the results gotten, it is observed that the natural shading produced by Sibipiruna tree provided to the shade an attenuation on temperature of the black globe of 2.82°C and on temperature of the air of 0.96°C lesser than the data gotten under the sun, and a percentage of attenuation of 8.34 % and 3.16%, respectively.

Analyzing the results, it is observed that the natural shading of Flamboyant tree produced to the shade an attenuation on temperature of the black globe of 3.96°C and on temperature of the air of 1.26°C lesser than the data gotten under the sun, and a percentage of attenuation of 9.62% and 3.46%, respectively.

For the results gotten, it can be concluded that the shading produced for the two analyzed arboreal species had provided the attenuation of the temperatures modifying the local microclimate.

Key words: Thermal comfort, natural shading, vegetation and shading.

3 INTRODUÇÃO

Desde o princípio de sua existência, ao compreender sua limitada capacidade para adaptar-se biologicamente às condições do clima, o homem tem buscado na arquitetura formas de controlar e modificar o meio ambiente e de criar condições para o bem estar e o desenvolvimento humano.

Gradativamente, o homem foi encontrando maneiras de satisfazer suas necessidades cotidianas de bem estar, tanto individual como da coletividade, a partir de uma arquitetura incipiente que utilizava recursos materiais encontrados ao seu redor, tais como pedras, argila, restos de animais e vegetação.

Em todos os tempos e lugares podemos encontrar exemplos de como o homem vem projetando o seu habitat de maneira a criar microclimas favoráveis em seu entorno, com o emprego da vegetação para manipular os elementos climáticos.

A vegetação é considerada elemento essencial não só no uso construtivo da edificação como na determinação do ambiente físico imediato, ou seja, aspecto decorativo, quebra ventos, proteção contra a chuva e a radiação solar, entre outros.

A vegetação tem propriedades físicas e fisiológicas e pode ser avaliada como um sistema de climatização natural que, combinando diversos elementos vegetais pode modificar o ambiente em escala microclimática, contribuir para aumentar a habitabilidade dos espaços e conservar a energia no ambiente produzido.

O uso de estruturas vegetais em edificações e, seu efeito em seres humanos, é assunto ainda pouco estudado. Para analisar esses efeitos é necessário o conhecimento do clima local, composto por todos os fatores climáticos como o sol, as nuvens, os ventos, a pressão atmosférica e pelo estudo do microclima composto pelos elementos que intervêm num determinado local como topografia e rugosidade do terreno, a vegetação, as construções vizinhas, a existência de corpos d'água, entre outros.

De acordo com Akbari & Taha (1992), a falta de cobertura vegetal produz diminuição da temperatura no inverno, pela facilidade com que os materiais utilizados nas edificações perdem calor para o meio, onde não existem barreiras naturais para retê-lo. Podemos salientar que esse tipo de situação no Brasil não é predominante, pois os invernos apresentam temperaturas amenas na maior parte do país.

Para Milano (1987), o método mais natural e pouco explorado tecnicamente de se controlar esses efeitos é a arborização. Afirma o autor que o planejamento arbóreo tem levado em consideração diferentes critérios tais como a forma da copa e altura da árvore e a disposições das raízes mas, praticamente, tem desconsiderado o conforto térmico como parte importante dessa análise. Salienta ainda que, a radiação solar é um dos principais fatores que influem no conforto térmico dos ambientes, tanto internos quanto externos.

Segundo 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: pelo sombreamento lançado pela vegetação que reduz a conversão da energia radiante em calor sensível, conseqüentemente reduzindo as temperaturas de superfície dos objetos sombreados; pela evapotranspiração na superfície da folha, resfriando a folha e o ar adjacente devido à troca de calor latente.

O homem, como qualquer outro organismo vivo, sob condições de estresse térmico tem seu rendimento prejudicado. Assim, pode-se dizer, que nenhum ser vivo consegue uma vida normal nessas circunstâncias, causando a diminuição de produtividade pelo aumento da temperatura.

A maior parte da carga térmica de uma edificação provém da radiação solar e da temperatura do ar exterior, havendo a necessidade de um controle rigoroso dos elementos do microclima para eliminar o excesso de energia que torna inóspito o ambiente construído.

A arquitetura tradicional mundial apresenta soluções para o controle da insolação e ventilação e na utilização de materiais adequados para as mais variadas situações climáticas. Costuma-se apontar como consequência da Revolução Industrial no Ocidente, o abandono desses conhecimentos, em virtude das novas possibilidades de adaptação ao clima, favorecidas pelo avanço tecnológico. Principalmente depois do auge da crise energética mundial à utilização de sistemas passivos (sombreamento), para o controle ou redução dos efeitos climáticos no interior das construções, em detrimento dos sistemas ativos, vem sendo mais investigados. Eles visam, além da redução dos gastos energéticos, favorecer o conforto ambiental, adequando a construção às condições climáticas do entorno.

As preocupações econômicas com o aumento no consumo de energia, em função de alterações climáticas que implicam em aumento de temperatura estão presentes em vários estudos. Dessa forma, produzir conforto a baixo custo com o uso do sombreamento natural poderá ser uma alternativa viável.

Para diminuir o excesso de calor nas edificações uma das soluções encontradas foi o desenvolvimento de sistemas artificiais de condicionamento de ar. Mas, nos últimos tempos, a necessidade de economizar energia tem levado pesquisadores à busca de alternativas que possam substituir ou reduzir o uso desses equipamentos.

Segundo Schanzer & Mascaró (1993), a falta de cobertura vegetal, causada pela intervenção do homem, vem produzindo um consumo cada vez mais elevado de energia nas edificações, o que tem gerado vários estudos no sentido de economizar esses recursos com a utilização de formas naturais de climatização.

O estudo de alternativas como utilização de elementos da natureza, dentre as quais a vegetação começa a ser observadas em algumas pesquisas de forma a

estabelecer os princípios da arquitetura bioclimática, que tem por objetivo a produção de microclimas favoráveis ao conforto humano.

Vários trabalhos enfocam: ilhas de calor; estudo das sombras por modelos computacionais; atenuação da temperatura pela vegetação em campo aberto; utilização da vegetação como anteparo à radiação solar em espaço aberto. No entanto, pode-se observar que é pouco conhecida a análise qualitativa e quantitativa da influencia do sombreamento arbóreo no conforto térmico das edificações.

Por tratar-se de assunto pouco estudado nos meios científicos, a análise do sombreamento arbóreo e seu efeito em edificações sem fechamentos laterais, poderá contribuir para a discussão a respeito de produção do conforto térmico em ambientes internos onde o macro e microclima interagem a todo o momento.

No estudo é analisado o sombreamento de duas espécies arbóreas, produzidos pela radiação solar incidendo sobre a copa da árvore e seus efeitos no interior de uma edificação. A proposta de desenvolvimento da pesquisa tem como objetivo avaliar a influência do sombreamento por indivíduos arbóreos e sua interferência no conforto térmico de uma edificação aberta, através da análise das temperaturas produzidas pela sombra de cada uma das espécies.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A ação da radiação solar

O Sol é a principal fonte de energia da Terra que transmite na forma de energia radiante e propaga-se sob a forma de ondas ou partículas eletromagnéticas diferenciadas entre si pelo seu comprimento de onda e sua frequência, e se estende por um espectro de comprimento variável.

É importante conhecer a natureza da radiação extraterrestre, do efeito filtrante da atmosfera e os efeitos da orientação na superfície que recebe a radiação, a fim de que se possa fazer uso de dispositivos de proteção à radiação solar.

Em climas tropicais, a radiação solar é a principal causa de desconforto do homem. Seus raios são uma fonte intensa e abundante e vem sendo utilizada como geradora de energia em diversos pontos do planeta, de acordo com Mascaró (1983).

A busca do conforto humano passa pela aplicação de dispositivos que possam reduzir ou até mesmo neutralizar a ação da radiação solar.

4.1.1 Espectro da radiação solar

As ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol recebem o nome de radiação solar. O espectro da radiação solar ou de onda curta, segundo Duffie & Beckman (1980), é dividido em três regiões distintas: a região do ultravioleta, do visível e do infravermelho. A distribuição original do espectro de 7% na faixa do ultravioleta ($< 0,38\mu\text{m}$), 47,29% na faixa do visível ($0,38 - 0,78\mu\text{m}$) e 45,71% na faixa do infravermelho ($> 0,78\mu\text{m}$) é consideravelmente modificada pela atmosfera, de acordo com o comprimento de onda. Os comprimentos de onda abaixo de $0,29\mu\text{m}$ são absorvidos pelo ozônio presente na atmosfera. As demais frações na faixa do ultravioleta são absorvidas pelo nitrogênio, oxigênio e ozônio e, na faixa do infravermelho, são absorvidas pelo dióxido de carbono e vapor d'água.

Na superfície terrestre, a radiação solar se encontra basicamente na faixa entre $0,4\mu\text{m} \geq \lambda \geq 0,74\mu\text{m}$, ou seja, na região do visível e comprimentos de ondas superiores chegam de forma bastante reduzida à superfície terrestre. Segundo Rivero (1986), define-se o comprimento de onda eletromagnética como a distância entre dois máximos sucessivos. Sua frequência máxima é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda. A Figura 1 mostra a classificação da energia radiante pelo comprimento de onda.

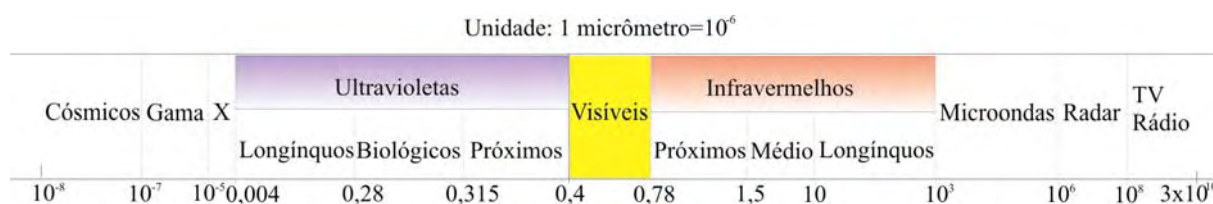


Figura 1. Classificação da energia pelo comprimento de onda

Adaptada de: Rivero (1986).

4.1.2 Radiação solar e o filtro atmosférico

A radiação solar atravessa uma massa gasosa que representa aproximadamente 8 km de atmosfera, antes de chegar à Terra. A atmosfera, devido ao seu efeito filtrante, é uma componente importante em relação à potência de energia que chega até

nós. Ela provoca uma sensível redução no fluxo de energia, pelo efeito de diversos fatores, uma vez que os distintos comprimentos de onda reagirão de diferentes modos ao entrarem em contato com as várias camadas que a compõem. Os principais elementos responsáveis pela dispersão da energia solar são as moléculas de gases atmosféricos e as finas partículas de pó, citam Bardou & Arzoumanian (1981).

Ayoade (1986), salienta que embora a radiação solar se propague através do espaço sem perda de energia, a intensidade da radiação diminui inversamente ao quadrado das distâncias entre a Terra e o Sol.

De acordo com Bardou & Arzoumanian (1984), aproximadamente 32% da radiação que chega à atmosfera é devolvida por difusão ao espaço e que 15% são absorvidos por ela. Do restante que chega ao solo (53%), são perdidos por reflexão 6% e absorvidos pela superfície do solo 47%. Afirmam também que o tamanho do trajeto percorrido pelas ondas eletromagnéticas vindas do sol varia com a latitude do local, pois quanto mais próximo dos pólos, maior a massa atmosférica atravessada e conseqüentemente menor é o fluxo energético. Na Figura 2, observa-se o balanço de radiação solar.

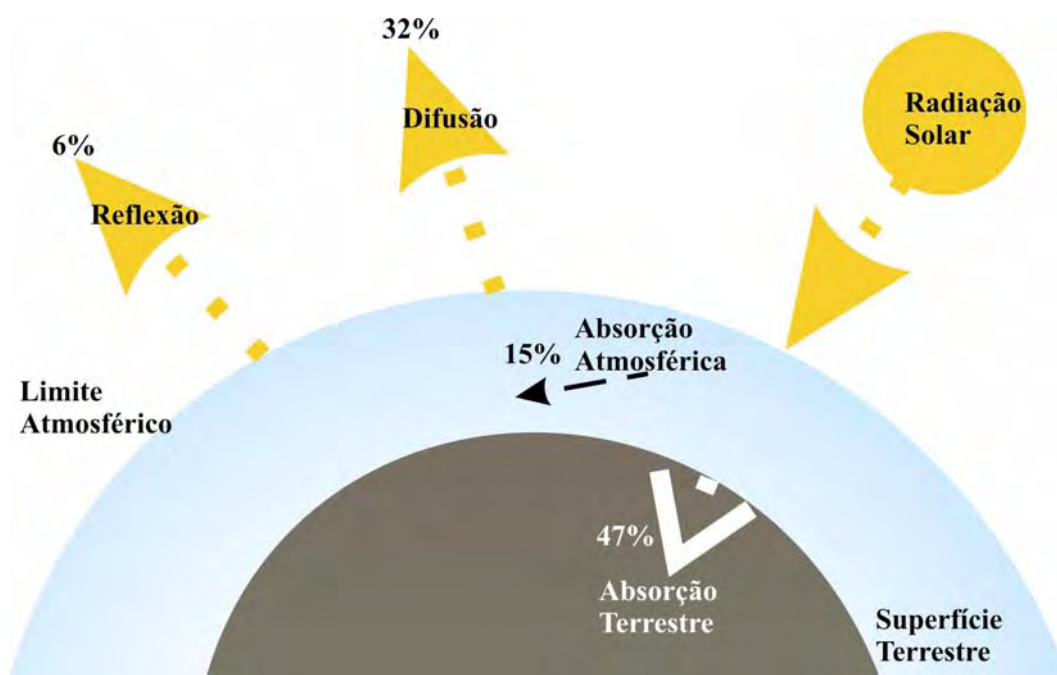


Figura 2. Balanço da radiação solar.

Adaptada de: Bardou & Arzoumanian, (1984).

A difusão produz-se em comprimentos de ondas superiores às dimensões das moléculas gasosas que colidem com a radiação. A reflexão depende das partículas suspensas na atmosfera. A absorção ocorre em função dos gases atravessados e dos comprimentos de onda.

Conforme a posição do Sol há uma variação de potência energética em função da hora do dia para um mesmo local. Desse modo, quanto mais espessa a camada da atmosfera a ser atravessada, maior a absorção da radiação. Para Koenigsberger et al. (1980), à medida que vai penetrando na atmosfera, a intensidade da radiação solar diminui, esta diminuição é causada pela interação de partículas que a compõe e por outros materiais que se acham suspensos no ar e são responsáveis pela absorção, refração, reflexão e difusão das ondas eletromagnéticas vindas do Sol.

Segundo Frota & Schiffer (2001), a intensidade da radiação solar tem seus máximos nos Equinócios e seus mínimos nos Solstícios. Equinócios são os dias 23/09 e 22/03, onde os raios solares atingem perpendicularmente o Equador, o que resulta, para qualquer latitude, uma mesma duração tanto para o dia quanto para a noite. Solstícios, são os dias onde os raios solares atingem perpendicularmente os Trópicos de Câncer (21/06), e a máxima intensidade da radiação solar ocorre em latitudes acima do Equador e no Trópico de Capricórnio (22/12), onde a máxima intensidade da radiação solar ocorre nas regiões localizadas abaixo do Equador portanto, nas regiões equatoriais tem todo ano dois máximos e nas regiões tropicais apenas um máximo.

De acordo com Ayoade (1986), a quantidade de radiação solar incidente sobre o topo da atmosfera da Terra depende de três fatores: da latitude, do período do ano e do período do dia. Desse modo a quantidade de radiação solar que chega a superfície terrestre é variável.

Para Koenigsberger et al. (1980), do total da radiação solar incidente (considerada 100%) que entra na atmosfera, 5% são refletidas pelo solo, 20% pelas nuvens, 25% absorvidas na atmosfera, 23% difusas no solo e 27% absorvidas pelo solo. Na Figura 3 pode-se observar a passagem da radiação pela atmosfera e sua conseqüente atenuação.

Radiação Total Incidente (constante solar) = 100%

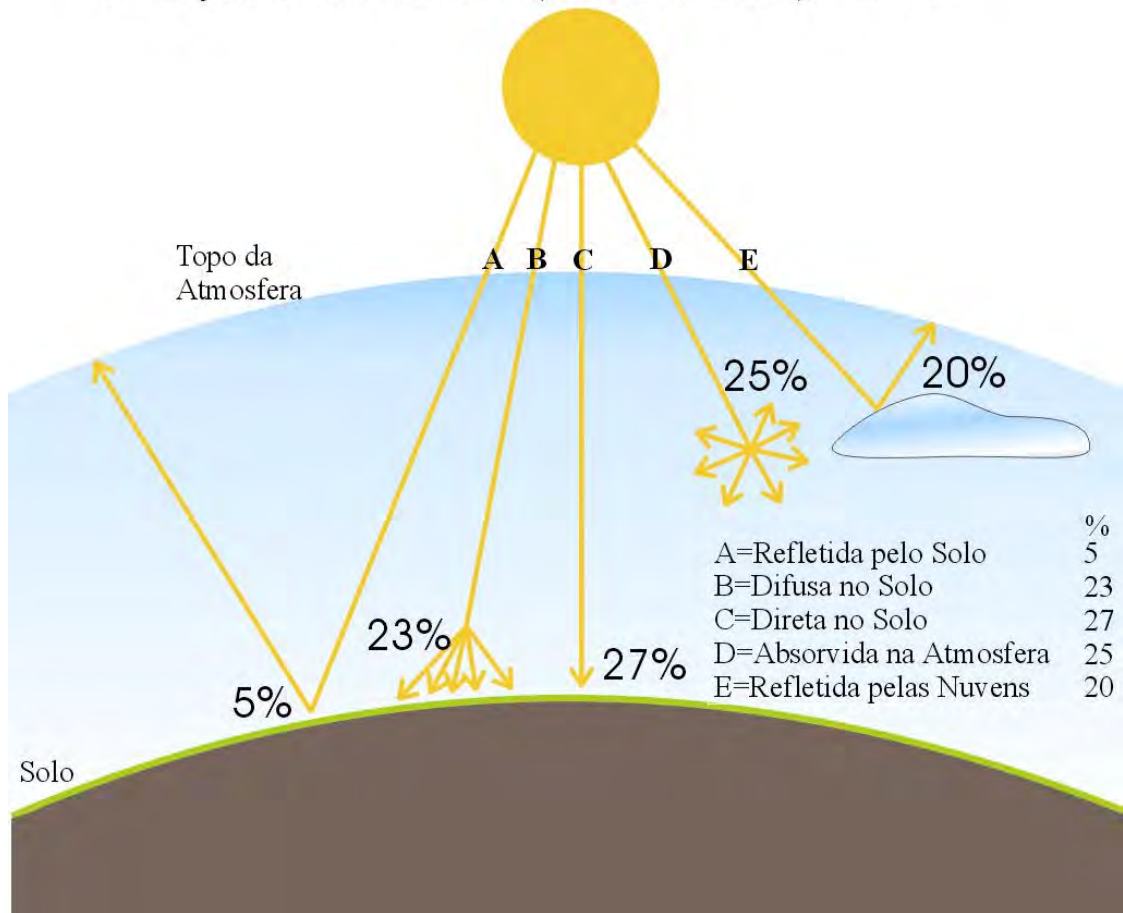


Figura 3. Interação da radiação solar com a atmosfera.

Adaptada de: Koenigsberger et al. 1980.

4.1.3 Energia irradiada

A energia resultante sobre a superfície terrestre pode ser vista segundo o seu grau de intensidade e sua distribuição espectral. A radiação de onda curta ou radiação solar compreende a faixa de comprimentos de onda de 300 a 3000nm. As radiações de ondas longas ou terrestres têm comprimento de onda superior a 3000nm, e são emitidas por corpos de baixa temperatura na superfície terrestre.

Duffie & Beckman (1980) estabelecem algumas definições sobre radiação:

- Radiação direta - aquela recebida do sol sem ter sido espalhada de alguma forma pela atmosfera.
- Radiação difusa - é a radiação que teve sua direção alterada por elementos presentes na atmosfera.
- Radiação de onda curta - tem seu espectro compreendido entre 300nm e 3000nm, e inclui os componentes diretos e difusos.
- Radiação de onda longa: tem em seu espectro valores acima de 3000nm e sua origem em fontes com temperatura próxima à ambiente.

4.1.4 Radiação difusa

A radiação difusa proveniente do céu pela difusão dos raios solares diretos incidentes sobre as nuvens ou partículas suspensas na atmosfera é aquela que teve sua direção alterada pelo efeito dispersor da atmosfera. Para Duffie & Beckman (1980), a quantidade de radiação difusa incidente sobre um plano dependerá da posição do sol no céu e da nebulosidade.

A emissão da energia difusa é reduzida em céus muito claros, e aumenta, até certo limite, com o aumento da nebulosidade. Após isto, diminui até valores muito reduzidos quando o céu encontra-se encoberto com nuvens escuras. Cole (1976), afirma que embora observações mostrem que a quantidade total de nuvens é provavelmente o fator mais importante para a presença de radiação atmosférica difusa, esta relação não é linear.

Segundo Robinette (1977), a abóboda parcialmente encoberta caracteriza-se por freqüentes alterações de nebulosidade, com nuvens esparsas e luminâncias excessivas na maior parte do tempo. O autor salienta que o desempenho da radiação difusa tem sido avaliado em função de céu característico de cada região, que varia entre claro, encoberto e parcialmente encoberto, segundo a distribuição de luminância.

De acordo com Sattler (1987), a taxa de radiação difusa em relação a radiação global em um dia varia entre 15% e 25% com céu parcialmente encoberto sendo unitária ao nascer e ao pôr do Sol e decrescendo com altitudes solares mais altas.

4.1.5 Radiação de onda longa

O espectro de radiação de onda longa está compreendido na faixa de comprimentos de onda de 3000 a 100000nm. É originada por fontes como edificações, animais, solo, atmosfera, vegetação, entre outros, que é emitida à atmosfera, sendo esta sempre opaca a essa radiação.

A absorção e a re-emissão dependem da temperatura e da emissividade dos constituintes absorventes nela presentes. O processo de absorção e re-emissão da radiação de onda longa na atmosfera é mais significativo na troposfera, onde há uma concentração maior de vapor d'água e dióxido de carbono, que são os principais constituintes relacionados com a emissão de onda longa, citam Pereira et al. (2002).

4.2 Clima

Fenômenos meteorológicos que definem a atmosfera de um lugar apresentam características muito diversas em pontos muito próximos entre si, constituindo-se no elemento particular para cada região. O Brasil, devido à sua vasta extensão territorial, apresenta uma ampla variedade de climas, com distintas características regionais.

De acordo com Rivero (1986), ao clima somam-se outros aspectos locais, como os materiais de construção, o desenvolvimento tecnológico e as condições sócio-econômicas, produzindo infinitas variações, dando origem a microclimas particulares. Como exemplo, tem-se que, nos diferentes lados de uma elevação, as quantidades de radiação solar e a velocidade dos ventos são distintas; os parâmetros registrados no centro e na periferia de uma cidade; uma única árvore com sua sombra ou mesmo cada edificação apresenta um espaço interior com características térmicas particulares. O autor cita que a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa e velocidade do vento são agentes térmicos do meio que intervêm preponderantemente no clima.

Segundo Carvalho (1993), as alterações climáticas são mais marcantes quando ocorre a transformação de um meio natural em um ambiente urbano. Estas transformações produzem um desequilíbrio no sistema e suas manifestações são sentidas e terão influência direta no conforto térmico humano.

4.2.1 Variáveis climáticas

O homem, por meio das suas atividades influencia o clima. Na medida em que são conhecidas as variáveis climáticas que o integram e caracterizam-no, criam-se novas interações de comportamento que influenciam as atividades humanas. As variáveis que integram e caracterizam o clima são: a radiação solar, temperatura do ar, umidade atmosférica, circulação atmosférica e as precipitações.

4.2.1.1 Radiação solar

O sol é uma fonte de luz primária, de grande intensidade, pontual e dinâmica. Metade de sua energia radiante recebida pela superfície da terra é visível e toda essa energia produz calor quando absorvida, isto faz que a luz solar não seja considerada adequada para iluminação natural, particularmente onde a presença é habitual, ou seja, em climas tropicais e seu entorno.

De acordo com Mascaró (1983), a energia transforma-se continuamente; o aquecimento desigual da terra e de sua atmosfera pela radiação solar gera energia potencial, parte da qual se transforma em energia cinética pela elevação do ar quente e descida do ar frio. O movimento cinético é maior nas cercanias do Equador e diminui com latitude até anular-se no pólo.

A disponibilidade de luz natural para qualquer região é determinada pela quantidade de radiação solar incidente nas diferentes estações do ano. As regiões que recebem os raios solares com um grande ângulo durante a maior parte do ano são quentes e luminosas, aquelas que recebem os raios solares só com ângulo pequeno e durante períodos mais curtos do ano, são frias e escuras no inverno.

4.2.1.2 Temperatura do ar

Temperatura é o conceito físico que nos permite medir o estado térmico de um sistema, estabelecendo sua maior ou menor capacidade de transmitir o calor ou a energia cinética média de suas moléculas.

Conforme Pereira et al. (2002), o ar é transparente às ondas eletromagnéticas, razão pela qual a temperatura não é consequência da ação direta dos raios solares. A radiação solar atinge o solo, a superfície se aquece pela absorção de parte desta radiação e transfere energia por convecção, assim a temperatura se eleva e aquece o ar.

De acordo com Faria (1984), a temperatura é a condição que determina o fluxo de calor, que se desloca de um corpo com temperatura mais elevada para outro com temperatura mais baixa e baseia-se na condição de deslocamento do fluxo de calor com tendência dos corpos em manter a estabilidade ou equilíbrio térmico.

Os fenômenos que intervêm no balanço energético da camada superficial da Terra são a radiação solar, evaporação, convecção, radiação de onda longa e condução. A temperatura do ar segue uma variação senoidal, apresentando como fato característico um máximo que ocorre após o meio-dia. O autor salienta que, em climas secos, com baixa umidade relativa e céu claro, a amplitude térmica é maior do que em climas úmidos. A incidência da radiação solar no plano horizontal, em climas úmidos é afetada pela nebulosidade e aumento das perdas por evaporação, e pela umidade que cobre o solo.

Segundo Ayoade (1986), o padrão de variação da temperatura média do ar na superfície tem como influência a quantidade de radiação solar incidente e a forma de calor como é transmitida, como pode ser visto na Figura 4. A temperatura varia também de acordo com o período do dia, elas são menores no início da manhã e no final da tarde do que ao meio do dia.

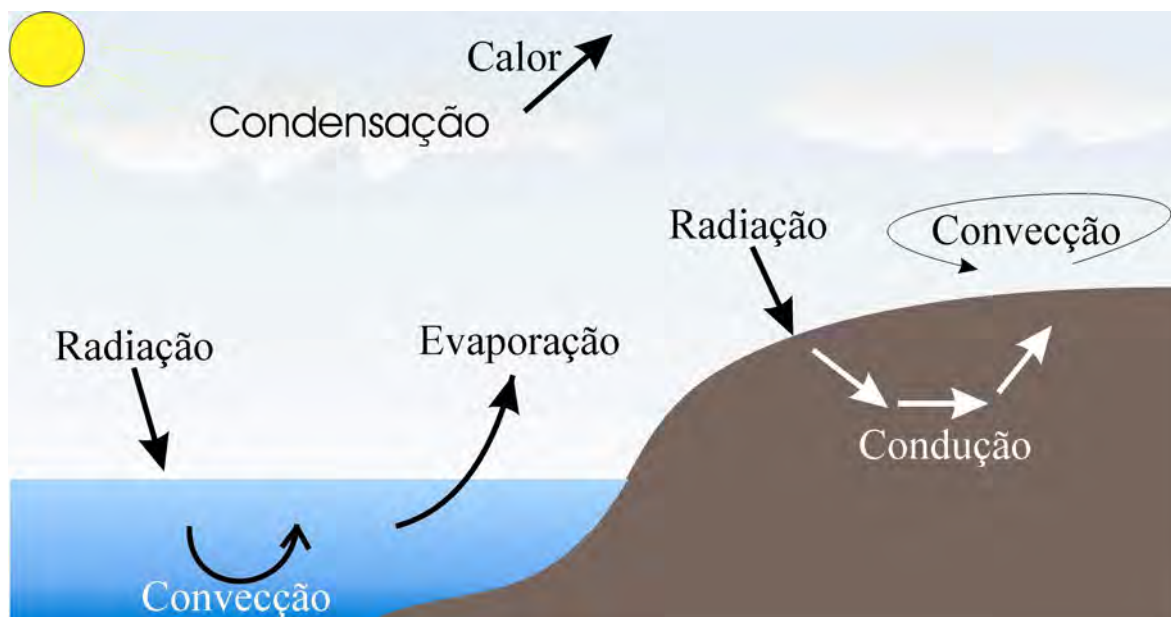


Figura 4. Transmissão de calor no meio.

Adaptada de: Bardou & Arzoumanian, (1984)

A diferença de temperatura na superfície terrestre é influenciada por vários fatores e sua distribuição depende das correntes oceânicas, ventos predominantes, relevo, natureza da superfície (albedo), balanço de radiação, transformação da radiação em calor latente ou sensível e pelas diferentes taxas de aquecimento e resfriamento da superfície, de acordo com Monteiro (1990).

Conforme Faria (1984), a temperatura sobre a superfície varia em função da latitude no sentido do equador aos pólos e em função da época do ano. A tendência é de maior uniformidade térmica na região equatorial, sendo que na região dos trópicos as temperaturas são mais elevadas no verão, quando a insolação é maior, e menores no inverno, quando a insolação é menor.

4.2.1.3 Umidade atmosférica

A existência de água na atmosfera e suas mudanças de fase desempenham papel importantíssimo em vários processos físicos naturais, como transporte e a

distribuição de calor na atmosfera, a evaporação e evapotranspiração, a absorção de diversos comprimentos de onda da radiação solar e terrestre, e outros cita Pereira et al. (2002).

O ar, a uma determinada temperatura, possui um limite para a quantidade de vapor de água que pode conter e, quando atinge esse limite, fica saturado (100% de umidade). Ultrapassado esse limite, o ar atinge seu ponto de orvalho e ocorre a condensação do vapor de água excedente, passando para o estado líquido.

De acordo com Ayoade (1986), o termo comumente usado para descrever a quantidade de vapor de água presente na atmosfera é umidade, que resulta dos processos de evaporação das águas, da evapotranspiração das plantas e de outros fatores de menor importância. Segundo o mesmo autor, o vapor de água é componente importante na definição do clima e do tempo, embora represente, no máximo, 2% de massa total da atmosfera e 4% do seu volume. Desloca-se dos pontos de maior aos de menor umidade absoluta. Isto significa que ele se difunde através de dois meios com umidades absolutas diferentes.

A transferência de vapor de água da superfície terrestre para a atmosfera é função das superfícies livres de água, umidade do solo, transpiração vegetal e degelo.

O vapor de água é a origem de todas as formas de condensação e precipitação, pode absorver tanto a radiação solar como a radiação terrestre e exerce um grande efeito sobre a temperatura do ar. Ao condensar, o vapor de água libera calor latente que é importante fonte de energia para a circulação atmosférica, afetando a estabilidade do ar. Há, portanto, transporte de energia associado ao processo evaporativo, conforme Pereira et al. (2002).

A evaporação e a condensação envolvem, portanto, processos de transmissão de calor. A evaporação retira calor do ambiente e a condensação o restitui. A compreensão desse processo envolve a inter relação entre umidade absoluta, umidade relativa e temperatura do ar.

Conforme Monteiro (1991), a umidade relativa é grandemente influenciada pela temperatura do ar, e seu valor pode variar se houver uma mudança nesta, mesmo que não tenha havido nenhum aumento ou diminuição no conteúdo de umidade. Assim, a umidade relativa varia inversamente com a temperatura, sendo alta no início da manhã, no final da tarde e início da noite, e baixa no início da tarde.

A evapotranspiração é a perda de água das superfícies onde existe a vegetação e onde a transpiração é de fundamental importância. Assim, a quantidade de vapor de água no ar é um fator importante que influencia as taxas de evaporação e evapotranspiração pois, determina a temperatura sentida pelo organismo humano e influi diretamente no conforto térmico.

Conforme Pereira et al. (2002), em uma área, a taxa de evaporação e evapotranspiração é determinada por dois principais fatores: a disponibilidade de umidade na superfície onde há evaporação e a capacidade da atmosfera de evaporar a água, remover e transportar o vapor e principalmente em função de diversos fatores, tais como a radiação solar, temperatura, velocidade do vento e umidade.

4.2.1.4 Circulação atmosférica

O efeito combinado da rotação da Terra da inclinação do eixo terrestre e da sua translação ao redor do sol, cria o sistema global de circulação atmosférica. Os ventos globais são em grande parte gerados pelas diferenças de temperatura e, portanto, pelas diferenças de pressão atmosférica.

Os movimentos atmosféricos ocorrem em várias escalas, interagindo e afetando uns aos outros, auxiliando na determinação do tempo e do clima em um lugar, de acordo com Faria (1984).

Segundo Frota & Schiffer (2001), o determinante principal das direções e características dos ventos, à nível de globo, é a distribuição sazonal das pressões atmosféricas. A variação destas pode ser explicada, entre outros fatores, pelo aquecimento e esfriamento das terras e mares, pelo gradiente de globo e pelo movimento de rotação da terra.

A variação do ângulo de incidência dos raios solares à superfície entre as zonas polares, onde é tangencial, e as zonas equatoriais, onde é perpendicular, provoca grandes diferenças de temperatura. É ao equador que chega maior quantidade de radiação solar. O equador é uma fonte de calor, isto é, recebe mais radiação do que a que irradia e os pólos perdem mais radiação do que a que recebem.

Segundo Atkinson, apud Ayoade (1986), a circulação geral da atmosfera depende de vários fatores. Dentre estes, tem-se a diferença nas propriedades

térmicas da superfície terrestre, as variações topográficas, as transformações energéticas na atmosfera, mas, principalmente, dos movimentos da atmosfera em relação a superfície da Terra e da atmosfera em conjunto com a Terra, quando esta gira em torno de seu eixo. Na Figura 5, observa-se o movimento do ar devido à rotação terrestre.

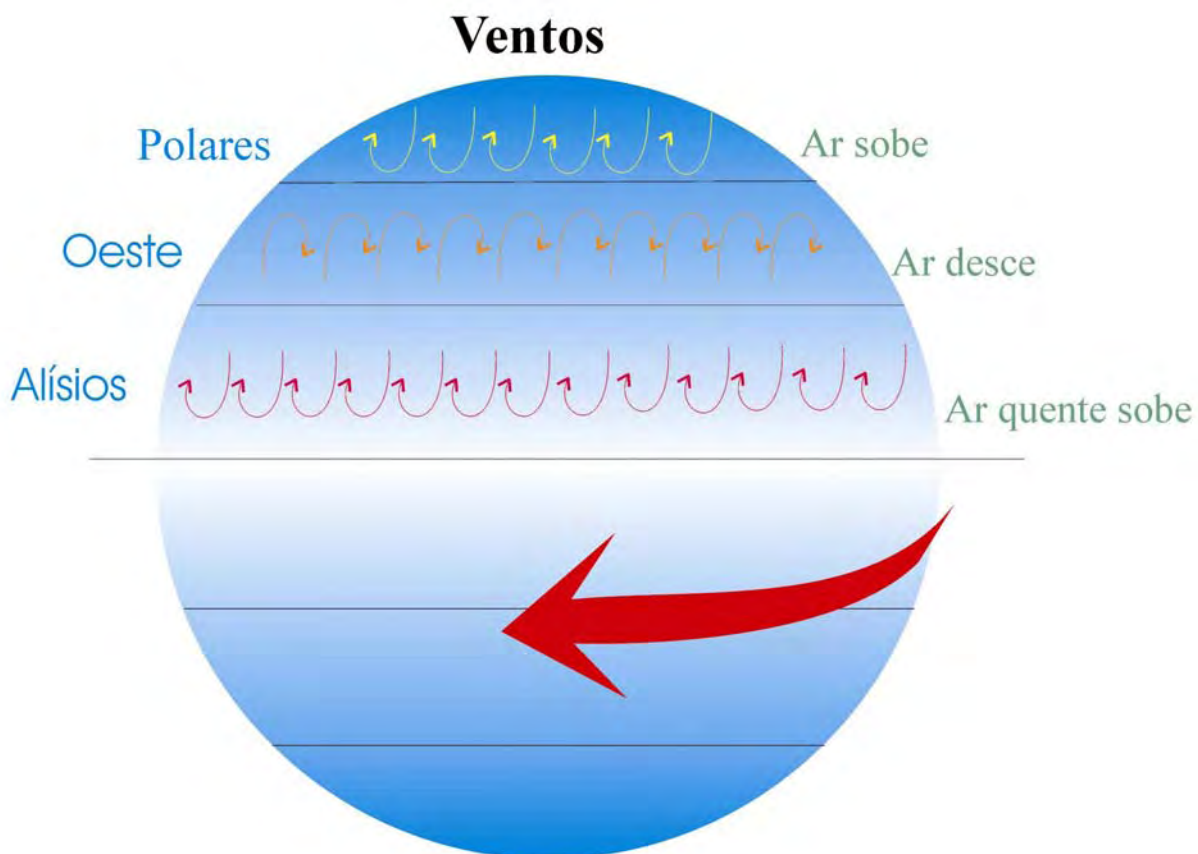


Figura 5. Movimento do ar devido à rotação terrestre.

Adaptada de: Romero (1988).

4.3 O homem e o meio ambiente

As atividades do homem influenciam o clima e estas, por sua vez, são influenciadas pelas variáveis que integram e caracterizam o clima de uma região.

O conhecimento das alterações climáticas e suas manifestações passam pelo reconhecimento de algumas variáveis que compõem o clima regional e pode contribuir para

subsidiar alternativas que conduzam ao seu controle e à melhoria na adequação do homem ao ambiente em que vive.

O corpo humano é um sistema termodinâmico que produz calor e interage continuamente com o ambiente a fim de que possa assegurar o balanço térmico para a vida. Regida por leis físicas e, influenciada por mecanismos de adaptações fisiológicas, condições ambientais e fatores individuais, mantém uma constante troca de calor entre o corpo e o meio.

De acordo com Olgyay (1963), a energia e a saúde do homem dependem, em grande parte, dos efeitos diretos do ambiente em que este se encontra. Em regiões onde há calor ou frio excessivo, a energia é diminuída pela tensão biológica resultante da adaptação às condições extremas. O autor enfatiza que os elementos do clima, em especial a temperatura e a umidade do ar, a radiação solar e o movimento do vento, atuam sobre a percepção térmica do homem. E que para responder às exigências externas, o homem utiliza dois mecanismos de regulação térmica: um de caráter fisiológico (suor, batimentos cardíacos, contração dos músculos, arrepios e ereção dos pelos) e outro de caráter comportamental (sono, prostração, redução da capacidade de trabalho).

4.3.1 Conforto térmico

O homem, como qualquer corpo, troca calor com o meio desde que exista o princípio da diferença de temperaturas. As trocas térmicas entre o homem e o meio são governadas por muitas variáveis. Algumas dependem do próprio homem, como idade, sexo e grau de aclimação, porém, as principais são as atividades que realiza e as roupas que veste. Outras variáveis pertencem ao espaço habitado, tais como a temperatura média radiante e a temperatura, velocidade do vento e umidade do ar.

Segundo Rivero (1986), as trocas térmicas são complexas porque apresentam uma grande quantidade de fatores e variáveis. Assim, têm importância as vestimentas que supõem uma resistência térmica, a temperatura e a emissividade de todas as superfícies que o rodeiam, a temperatura e a velocidade do ar que afetam a quantidade de calor transmitido por convecção e as perdas por evaporação. Estas variáveis passam por alterações durante o dia, pois devem ser considerados a radiação solar, as luzes, número de pessoas, aparelhos elétricos, e outros geradores de calor. O autor enfatiza que um movimento de ar da

ordem de $1,5 \text{ m s}^{-1}$ ($5,4 \text{ Km h}^{-1}$) produz o mesmo efeito térmico sobre o homem que uma diminuição na temperatura do meio em 3°C .

De acordo com Ribeiro (2002), as condições climáticas comumente não interferem na temperatura interna do corpo humano, pois o homem é um ser homeotérmico e sua temperatura interna varia de 33° a 41°C . As alterações só irão ocorrer quando a temperatura do ambiente ultrapassar limites nos quais o organismo não consegue mais equilibrar a temperatura interna.

A sensação de conforto térmico está intimamente relacionada com o esforço que o organismo realiza para manter o balanço térmico essencial à vida, obtido quando a quantidade de calor produzida pelo corpo é igual à cedida para o ambiente pela pele e respiração. A diferença entre a taxa de metabolismo e o trabalho mecânico realizado é o calor produzido, segundo Ribeiro (2002).

O sistema termoregulador tem por objetivo impedir grandes variações de temperatura interna do corpo de maneira que os sistemas vitais possam operar adequadamente. Para Macintyre (1980), a temperatura de núcleo ajustada pelo sistema regulador não é constante e depende da taxa de metabolismo. Assim, a temperatura do corpo não é igualmente distribuída em todo organismo. Uma temperatura de 37°C é mantida no interior do cérebro, do coração e nos órgãos abdominais, o autor ainda afirma que em atividades físicas severas, com alta taxa de metabolismo, essa temperatura pode alcançar até $39,5^\circ \text{C}$.

Conforme Ruas (1999), o homem é um ser homeotérmico, mantendo dentro de certos limites a temperatura corporal interna relativamente constante, independente da temperatura ambiente.

Nos organismos homeotérmicos a energia interna necessária para a sua sobrevivência é obtida por meio de processos metabólicos, onde o metabolismo é o conjunto de trocas de matéria e energia que o homem efetua com o meio, para a realização de seus processos vitais. O restante da energia produzida pelo metabolismo é liberado para o ambiente sob a forma de calor, de acordo com Frota & Schiffer (2001).

Conforme Rivero (1986), o metabolismo do corpo se dá com a queima de calorias e a produção de energia devido ao oxigênio que gera. Então, o calor interno do corpo faz com que o homem troque calor com o meio. Essa troca pode ser feita por

condução, convecção, radiação e evaporação. O organismo humano realiza a troca com o meio por condução, quando há o contato físico entre o corpo e algum objeto alterado pelo meio, tornando-se mais quente ou mais frio; por convecção, quando o corpo está próximo a um objeto mais quente ou mais frio; por radiação, quando o homem recebe radiação solar; por evaporação, só há perda de calor.

Segundo Ruas (1999), o equilíbrio térmico do corpo humano é mantido por um sistema termorregulador, que por meio de ações fisiológicas interfere nas trocas térmicas com o ambiente. Estas trocas devem ser permanentes e imediatas para que a temperatura do corpo se mantenha constante e o calor produzido seja eliminado. A sensação de bem estar térmico depende da manutenção do equilíbrio térmico e isto ocorre quando é menor a exigência do sistema termorregulador. Na Figura 6 observa-se o processo de trocas térmicas entre o ambiente e o corpo humano, para que mantenha a temperatura interna em torno de 37°C e o equilíbrio com o meio.

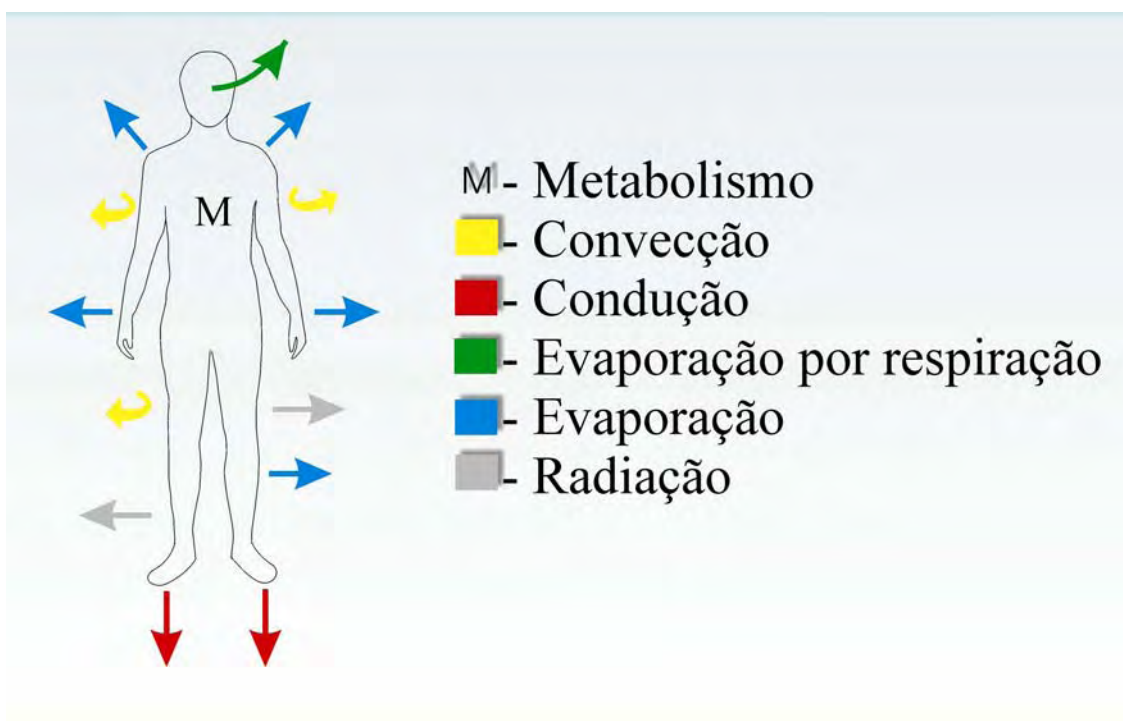


Figura 6. Metabolismo e trocas térmicas.

Adaptada de: Bardou & Arzoumanian (1984).

Segundo Romero (1988), é necessário para que o corpo esteja em equilíbrio térmico que a quantidade de calor recebida do ambiente somada a quantidade de calor ganho através do metabolismo, seja igual à quantidade de calor cedida ao ambiente. Salienta ainda que o equilíbrio térmico é condição necessária para que seja experimentada a sensação de conforto térmico, mas depende também de manifestações climáticas e de variáveis como sexo, idade, biótipo, hábitos alimentares, vestimenta e atividade.

A Figura 7a mostra o equilíbrio térmico do homem. A Figura 7b os processos de ganho de calor (metabolismo e atividade) e de perda de calor (evaporação).

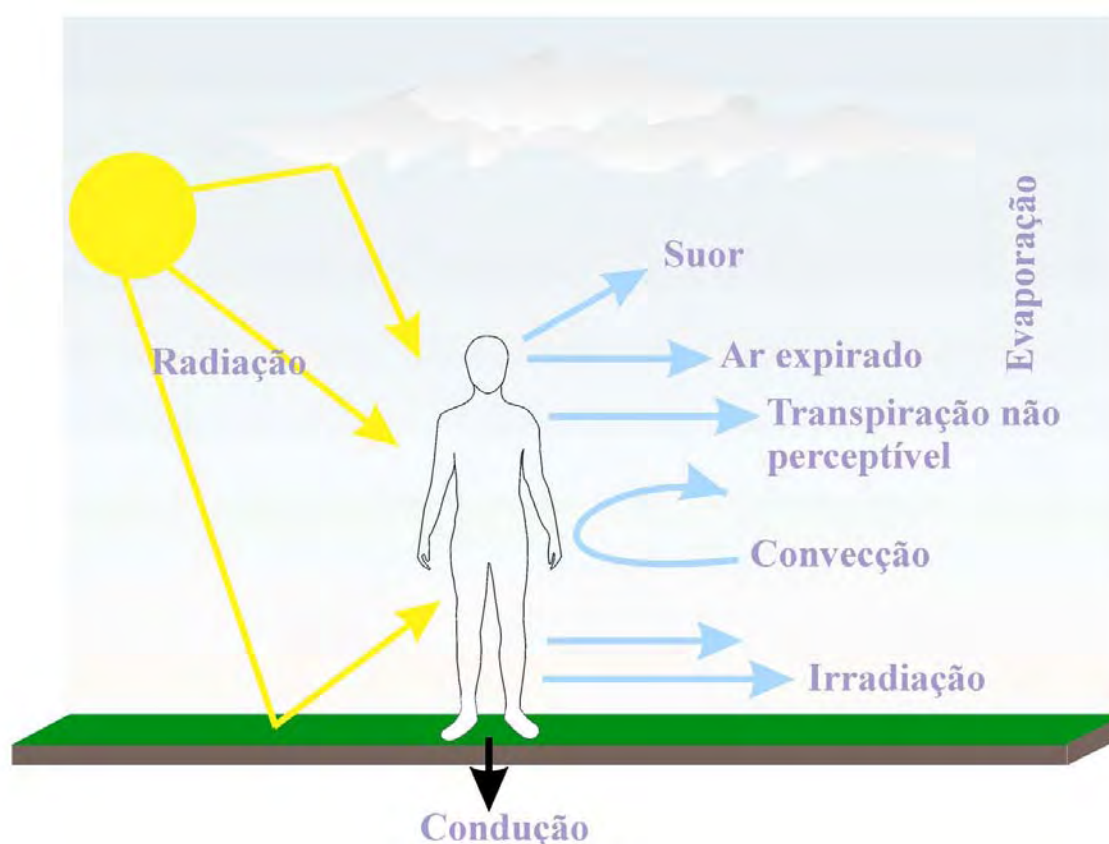


Figura 7a. Equilíbrio térmico do homem

Adaptada de: Romero (1988).

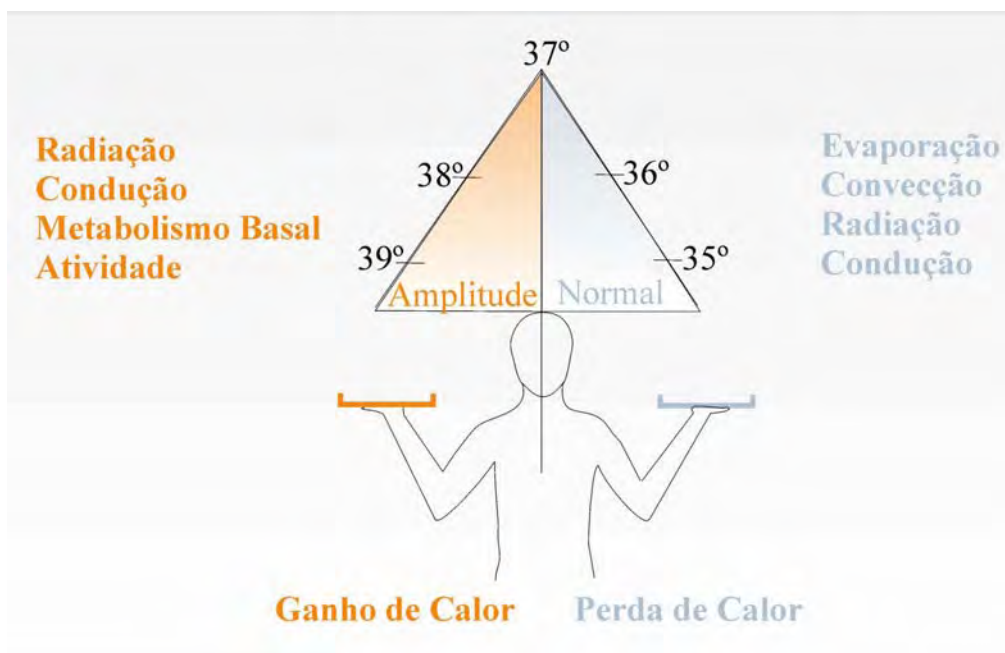


Figura 7b. Processo de perda e ganho de calor.

Adaptada de: Romero (1988).

As trocas de calor entre o corpo e o ambiente dependem da diferença de temperaturas entre os dois e da pressão de vapor d'água do ar ambiente próximo à superfície da pele.

Conforto e equilíbrio térmico do corpo humano estão relacionados, na medida em que a sensação de bem estar térmico depende do grau de atuação do sistema termorregulador para a manutenção do equilíbrio térmico. Isso significa que, quanto maior for o trabalho desse sistema para manter a temperatura interna do corpo, maior será a sensação de desconforto.

De acordo com Rivero (1986), o conforto térmico depende de fatores que interferem no trabalho do sistema termorregulador como: taxa de metabolismo, isolamento térmico da vestimenta, temperatura radiante média, umidade relativa do ar, temperatura e velocidade do vento. Assim, o efeito combinado de todos esses fatores determina a sensação de conforto ou desconforto térmico. Por motivo de classificação, os dois primeiros fatores são chamados de variáveis pessoais e os quatro últimos de variáveis ambientais.

A primeira condição para se obter conforto térmico é que o corpo esteja em equilíbrio térmico, ou seja, a quantidade de calor ganho (metabolismo e calor recebido do ambiente) deve ser igual à quantidade de calor cedido para o ambiente. Essa condição é necessária, mas não suficiente, para que haja conforto térmico. Isso pode ser explicado pela eficiência do sistema termorregulador, que consegue manter o equilíbrio térmico do organismo numa ampla faixa de combinações das variáveis pessoais e ambientais, embora o conforto térmico só ocorra numa restrita faixa dessas combinações.

Segundo Monteiro (1990), o conforto térmico é a ausência total de constrangimento sensorial experimentado pelo corpo humano na sua relação de troca com o ambiente sendo, portanto, subjetivo. O conforto térmico é uma sensação e, sendo subjetiva, depende das pessoas. Um ambiente pode ser confortável termicamente para uma pessoa e desconfortável para outra. Assim, quando se trata de condições ambientais para o conforto térmico de um grupo de pessoas, entendem-se condições que propiciem bem estar ao maior número possível de pessoas, mas não necessariamente a todas.

Os mecanismos termorreguladores existem para manter estável a temperatura interna do corpo, desse modo, o meio não pode ultrapassar certas faixas, porque com o ganho ou perda de calor pode ocorrer um aumento ou diminuição interna no organismo, ocasionando danos à saúde ou até mesmo a morte do indivíduo. Na presença do frio, o organismo tende a perder calor para o meio e logo os mecanismos termorreguladores são acionados com o objetivo de evitar a perda e aumentar a produção interna de calor. A vasoconstrição periférica contrai os vasos capilares mais próximos à pele e dilata os vasos mais próximos aos órgãos internos, fazendo com que a temperatura da pele fique o mais próximo possível da temperatura do meio evitando a perda por radiação e convecção; persistindo o frio o homem começa a fazer uso de seus mecanismos instintivos, como curvar o corpo, esfregar as mãos; mecanismos culturais, como ingerir alguma bebida quente e de habilidades, como tecer roupas apropriadas e fazer abrigos que melhor se adaptem ao meio, citam Frota & Schiffer (2001).

Na presença do calor, a vasodilatação periférica faz com que ocorra um aumento da temperatura da pele evitando a perda de calor do meio por convecção e por radiação produzindo o suor que será evaporado. Na evaporação há um incremento das perdas de calor do corpo. Assim, a temperatura da pele aumenta muito e, se o ar estiver muito úmido

não ocorre a evaporação total e parte do suor fica na superfície. Assim, há uma redução automática do metabolismo com o intuito de diminuir a produção interna do calor no organismo. Frota & Schiffer (2001), salientam que o conforto térmico ocorre quando as trocas de calor a que o corpo está submetido forem nulas e a temperatura da pele e o suor estiver dentro de certos limites, satisfazendo as condições de conforto do organismo humano.

Conforme Mascaró (1991), oferecer condições para que a temperatura do corpo se mantenha dentro de limites razoáveis não é suficiente, deve-se evitar circunstâncias prejudiciais aos processos de regulação térmica a partir do ponto que começam a interferir na execução das funções normais ou na manutenção da saúde.

Segundo Toledo (1973), o homem deve perder para o meio ambiente, na unidade de tempo, uma certa quantidade de calor em função da atividade que exerce, e dada as condições ambientais que hora propiciam uma dissipação maior, hora menor do que a quantidade que está sendo produzida. Dessa forma, faz-se necessária a existência de meios de controle que façam que a dissipação se processe de forma regular com a variação nas condições do meio.

Os meios para a determinação do conforto térmico são instrumentos importantes para o estudo de técnicas de controle do meio ambiente. Diversos métodos de avaliação do desempenho térmico dos ambientes, têm sido desenvolvidos. A carta bioclimática foi desenvolvida a partir de estudos acerca de efeitos do clima sobre o homem, quer ele esteja abrigado quer não, de zonas de conforto e de relações entre elementos de clima e conforto. Construída tendo como ordenada a temperatura de bulbo seco e como abscissa a umidade relativa do ar.

Na Figura 8, observa-se a carta bioclimática que estima os prováveis efeitos de diferentes condições ambientais.

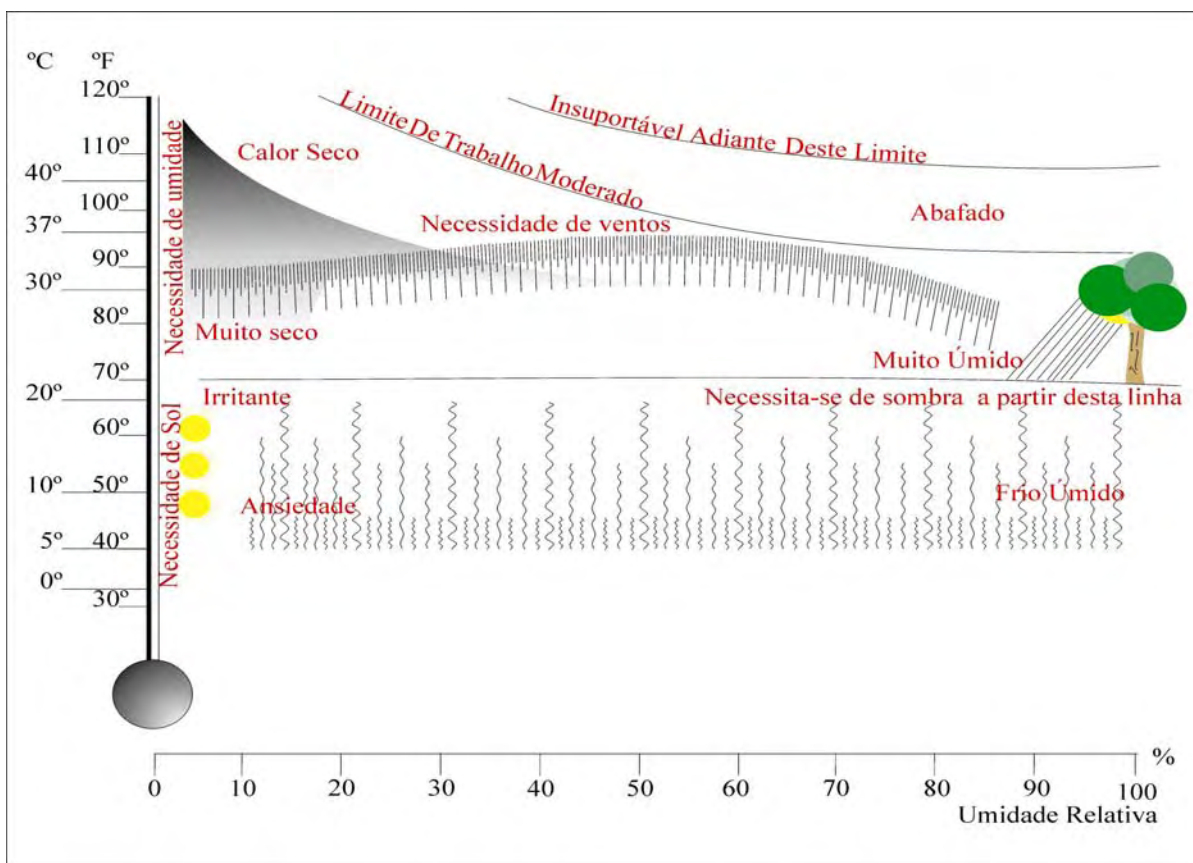


Figura 8. Carta bioclimática

Adaptada de: Olgyay (1963).

De acordo com Romero (1988), a zona de conforto de uma pessoa, em repouso à sombra, se altera quando se verifica movimento do ar ou quando ele se exercita ou permanece ao sol. Os modelos, em síntese, mostram que quando as condições higrotérmicas provocam uma tensão positiva (calor), o movimento do ar em torno do corpo das pessoas modifica o índice de conforto alcançado.

A necessidade de se conhecer a sensação térmica experimentada pelo organismo humano quando exposto a várias condições ambientais, levou ao desenvolvimento de estudos a fim de se estabelecer índices de conforto térmico para tornar possível a avaliação de situações de conforto ou estresse térmico (RUAS, 1999).

Givoni (1981), afirma que a diferença entre os índices de conforto estabelecidos está na importância relativa atribuída a cada uma das variáveis que interferem no seu estabelecimento e suas interdependências, bem como nos valores da unidade utilizada

para expressar a combinação de fatores, na faixa de condições de aplicação e na aproximação do problema.

Os principais índices de conforto térmico estabelecido podem ser considerados os de Voto Médio Estimado de Fanger, o Índice de Temperatura Efetiva desenvolvido por Houghten, Índice de Temperaturas Neutras por Humphreys e Índice de Temperatura Neutra ao Exterior desenvolvido por Aroztegui, de acordo com Ruas (1999).

O grau de conforto ou desconforto de um ambiente pode ser verificado pelo método proposto por Fanger, apud Prata (1998), que estabelece a seguinte escala de sensação térmica:

- -3: muito frio
- -2: frio
- -1: leve sensação de frio
- 0: confortável (neutralidade térmica)
- +1: leve sensação de calor
- +2: quente
- +3: muito quente

Neste método, o autor considerou os seguintes parâmetros: a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a velocidade relativa do ar (velocidade do ar em relação ao indivíduo), temperatura radiante média do ambiente, vestimenta usada pelo indivíduo e o metabolismo em função de sua atividade.

Fanger (1970), propôs uma correlação entre a porcentagem de pessoas insatisfeitas com o ambiente térmico e o voto médio estimado, chamado de porcentagem estimada de insatisfeitos. A Figura 9 mostra uma curva simétrica com valor mínimo de 5% menor porcentagem de indivíduos insatisfeitos mesmo em ambiente ideal (AWBI, 1991).

O voto médio estimado demonstra a sensação térmica média das pessoas em um dado ambiente. Na grande maioria dos casos, ocorre uma variação na sensação térmica sentida pelos indivíduos em um mesmo ambiente. A Figura 9 mostra a porcentagem de pessoas insatisfeitas em função do voto médio estimado.

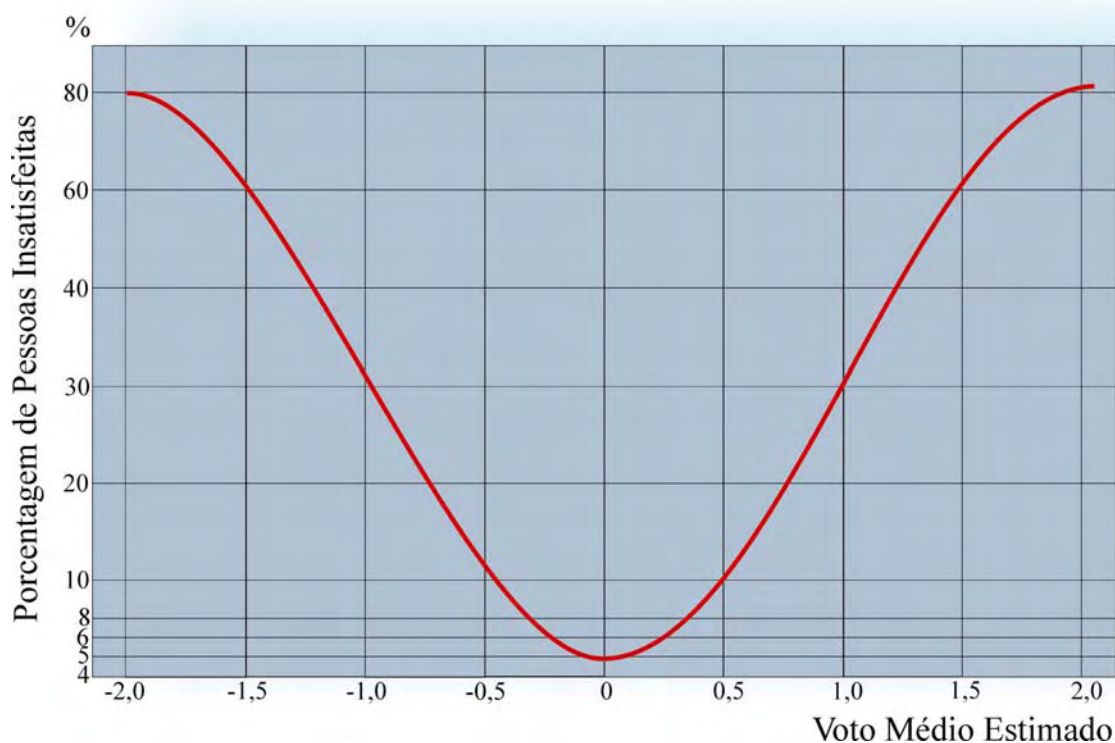


Figura 9. Porcentagem Estimada de Insatisfeitos em função do Voto Médio Estimado

Adaptada de: AWBI, (1991).

Fanger (1970), afirma que a hipótese é fundamental no método dos Votos Médios Estimados, pois, para uma determinada taxa de metabolismo, a temperatura média da pele e a quantidade de calor perdida por evaporação do suor são as únicas variáveis fisiológicas que influenciam no equilíbrio térmico do corpo e que o conforto depende destas variáveis. Assim, existe uma temperatura média da pele e uma quantidade de calor perdida por evaporação do suor para cada taxa de metabolismo que corresponde a uma sensação de conforto.

4.3.2 Variáveis de conforto térmico

As variáveis de conforto térmico se dividem em variáveis ambientais, atividade física e vestimenta. As variáveis ambientais são a temperatura do ar, umidade relativa e a velocidade do vento.

As condições de conforto térmico estão relacionadas a uma série de variáveis e, para ser avaliadas, a pessoa deve estar vestida adequadamente sem problemas de saúde e aclimação. Assim, as condições ambientais, capazes de proporcionar sensação de conforto térmico são diferentes para habitantes de clima quente e úmido e de clima quente e seco e, principalmente, de clima temperado ou frio, de acordo com Frota & Schiffer (2001).

Quanto maior a atividade física, maior será o calor gerado por metabolismo. Por esse motivo, o arquiteto deve ter a preocupação de saber a função da sua arquitetura a fim de prever o nível de atividade que será realizada em seu interior, para proporcionar a sensação de conforto às pessoas.

Com relação à vestimenta, pode-se dizer que a sua resistência térmica é de grande importância na sensação de conforto térmico do homem. Segundo Frota & Schiffer (2001), a vestimenta representa uma barreira para as trocas de calor por convecção, mantendo uma camada mínima de ar estacionário entre ela e a pele, dificultando as trocas por convecção e radiação. Ela funciona como um isolante térmico que mantém, junto ao corpo, uma camada de ar mais ou menos aquecido, de acordo com o tipo de vestimenta e a porção do corpo coberta. Em climas muito quentes é aconselhável utilizar roupas leves e abertas, pois as roupas longas e grossas dificultam a evaporação fazendo com que o suor evaporado permaneça entre a pele e a roupa.

4.4 A vegetação

As características próprias da vegetação em climas quentes as converte em perfeitos condicionadores térmicos, quando recebem a radiação solar. As folhas, como qualquer corpo, absorvem, refletem e transmitem a energia incidente em quantidades diferentes segundo os comprimentos de onda da radiação. A absorção das folhas é alta, em torno de 90% das lumínicas e 60% das infravermelhas. Estes valores indicam a perfeita adequação do vegetal às suas necessidades, pois a energia solar que utiliza para suas funções vitais encontra-se na faixa das radiações visíveis, de acordo com Rivero (1986).

O autor ainda salienta que, pequena quantidade de radiação é transmitida por transparência através da folha e o restante, entre 15% e 30%, é refletida. Da energia absorvida, uma parte se transforma em energia química potencial por fotossíntese e

outra em calor latente, ao evaporar-se a água eliminada pela folha por transpiração. Dessa forma, a temperatura superficial da folha não é elevada, apesar da quantidade de energia absorvida manter-se sempre abaixo da temperatura dos corpos inertes próximos.

Pode-se observar que os elementos vegetais apresentam melhor desempenho térmico em relação aos materiais inertes. Na Figura 10, observa-se que a grama ao sol tem uma temperatura menor que o passeio à sombra.

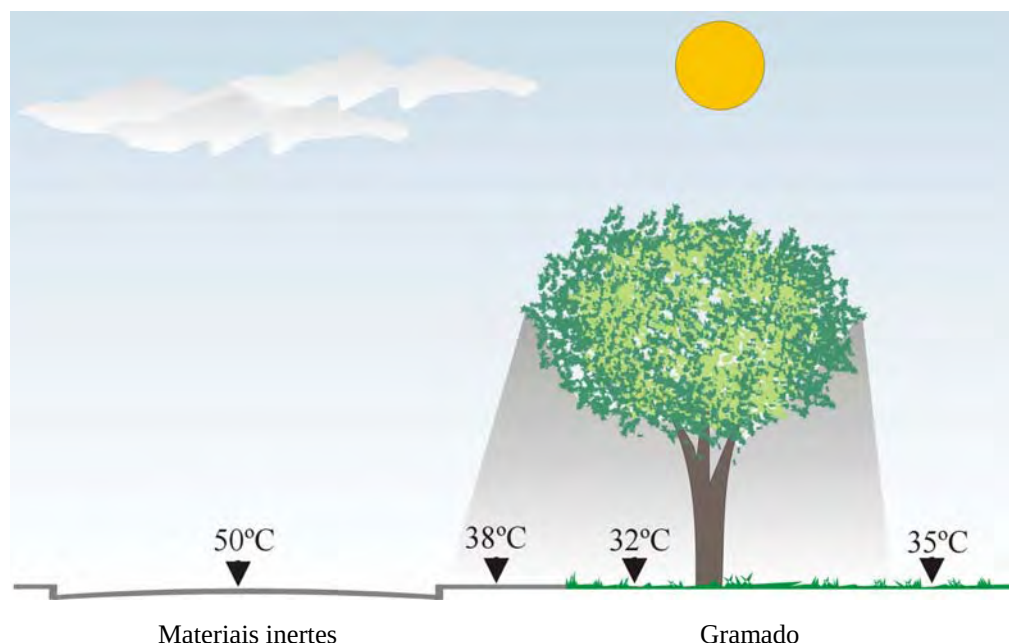


Figura 10. Desempenho térmico dos vegetais em relação aos materiais inertes.

Adaptada de: Rivero (1986).

Rivero (1986), comenta que em uma série de medições realizadas nos Estados Unidos, durante o verão, foram encontradas as seguintes diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas registradas ao longo do dia:

- No pavimento da rua: 32,60° C;
- No solo de areia: 25,90° C;
- No solo gramado: 16,00° C;
- No ar a 1,20m de altura: 14,20° C.

Pelo estudo pode-se comprovar que em regiões de clima quente é importante o uso da grama nos solos exteriores em vez dos materiais de construção. A temperatura do ar próxima à edificação é menor quando o solo é revestido por vegetação, pois

a ventilação que ingressa no espaço interior produz melhores condições térmicas, uma vez que os vegetais emitem menos energia radiante em direção às paredes e possuem baixo coeficiente de reflexão diante da radiação solar.

Segundo Mcpherson (1984), a vegetação fornece uma forma de resfriamento passivo por meio de:

- Sombreamento lançado pelas plantas, que reduz a conversão de energia radiante em calor sensível, conseqüentemente reduzindo as temperaturas de superfície dos objetos sombreados;
- Evapotranspiração da superfície da folha, resfriando a folha e o ar adjacente devido à troca de calor latente.

Por definição, calor sensível é a energia térmica da qual depende a temperatura do corpo que é transmitida a outros corpos por condução, convecção e radiação. Calor latente é a energia térmica associada com uma mudança de estado físico do corpo, sem que se verifiquem variações de sua temperatura.

De acordo com Furtado (1994), a vegetação pode bloquear a incidência da radiação solar, interagindo com ela, seja a radiação solar direta, a difusa, a refletida e a de onda longa. A interação da radiação direta e difusa depende de diversos fatores distintos:

- A radiação direta que interage com as folhas das plantas depende do número, tamanho e do modo de disposição das folhas no caule, entre outros;
- A radiação difusa depende principalmente da nebulosidade e das características óticas da vegetação;
- A radiação refletida depende do albedo da vegetação;
- A radiação de onda longa depende do grau de emissividade das folhas.

Segundo Sattler (1987), pelo contato direto com a atmosfera, a emissão de radiação de onda longa é mais intensa no topo da copa de uma árvore do que no seu interior e parte inferior e depende da temperatura do solo e das superfícies da planta. O estoque da radiação de uma árvore é complexo, pois há uma incidência de radiação no topo de

sua copa, absorção interna, reflexão, emissão e transmissão. As frações de radiação transmitidas, absorvidas e refletidas pelas folhas dependem do comprimento de onda e do ângulo de incidência da radiação direta emitida sobre elas, entre outros. Assim, em relação à radiação de onda longa, as folhas são os mais perfeitos irradiadores, com emissividade entre 0,94 e 0,99.

O desempenho da vegetação arbórea, quanto à interceptação da radiação, varia conforme a densidade de sua folhagem ao longo do ano (ciclo fenológico de cada espécie), das condições de transparência do céu e da posição relativa do Sol, cita Sattler (1992).

4.4.1 A árvore e o balanço térmico

A vegetação arbórea atua no microclima contribuindo para o controle da radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, ação dos ventos e da chuva e para amenizar a poluição atmosférica.

A vegetação também libera vapor d'água por meio de sua folhagem, pela evaporação das chuvas e transpiração fisiológica das plantas. Conforme as suas características, pode aumentar a umidade relativa do ar no ambiente construído, mas substitui com vantagem qualquer sistema de sombreamento para diminuir a carga térmica de radiação.

A cobertura vegetal em alguns centros urbanos já é considerada como indicador em programas ambientais. Como exemplo, temos a cidade de Blumenau-SC onde a cobertura vegetal faz parte da composição dos índices de sustentabilidade do município. Estes índices são configurados em um sustentômetro, que é uma expressão gráfica que permite visualizar a condição ambiental do local, de acordo com Dias (2002).

Na quantificação da cobertura vegetal, Oke, apud Lombardo (1985) estima que um índice na faixa de 30% seja o recomendável para proporcionar um balanço térmico adequado em áreas urbanas. Quando o índice nessas áreas for inferior a 5%, passam a determinar as características de um deserto.

Lombardo (1988), em estudo realizado na cidade de São Paulo, constatou que existe uma necessidade crescente de se elevar a proporção de áreas verdes nos bairros onde se concentram as ocupações desordenadas a fim de amenizar as variações de

temperatura nesses locais. A maior quantidade de vegetação implica em mudança do balanço de energia, pois as plantas, pelos processos de transpiração e fotossíntese, absorvem e utilizam a radiação solar.

O balanço de energia é o resultado da interação simultânea que ocorre entre a radiação solar, a convecção e a radiação de onda longa. Dessa forma, o microclima afeta a taxa de perda ou ganho de calor de uma edificação.

Como a quantidade de radiação refletida depende do albedo da superfície refletora e do ângulo de incidência solar, é importante defini-lo: albedo é a razão entre o fluxo da radiação solar refletido e o fluxo incidente, sendo expresso em porcentagem e está diretamente ligada a cor, a textura e ao estado de polimento dos materiais.

Conforme Ayoade (1986), em áreas urbanas, onde há grandes concentrações de poluentes, a insolação é 15% a 20% menor que em áreas rurais adjacentes a esses centros, sua duração é reduzida de 5% a 15%. Comparando-se as áreas, a radiação ultravioleta é 5% menor no verão e 30% menor no inverno nas áreas urbanas.

4.4.2 Aspectos relativos ao vegetal

O vegetal não funciona apenas como bloqueador ou filtro dos raios solares, ao servir como anteparo das radiações, processa várias reações químicas que têm seus efeitos adicionados ao microclima local.

Veen, apud Furtado (1994), enfatiza que o vegetal ao absorver a radiação solar, passa a produzir um processo fotobiológico que se inicia quando um determinado pigmento absorve um certo comprimento de onda luminosa, dando início a uma série de reações químicas. Desse modo, caracteriza-se por uma série de transformações biológicas iniciadas por uma reação fotoquímica. Dentre os processos, cita-se o fototropismo, a expansão das folhas, a fluorescência, o alongamento e a fotossíntese, sendo esta última a mais relevante dentro deste estudo.

4.4.2.1 Interação com a radiação solar

A vegetação absorve a radiação solar na faixa do visível e na faixa do infravermelho em porcentagens distintas, sendo o restante transmitido ou refletido através de suas folhas, de acordo com Rivero (1986). Para o autor, o processo de absorção da radiação pode ser assim distribuído: parte pode ser transformada em energia cinética nas moléculas absorventes produzindo aumento na temperatura do vegetal e de irradiação de onda longa; parte pode ser re-emitida como radiação visível e parte envolvida em reações químicas.

Ferri, apud Furtado (1994), afirma que a folha reflete em torno de 10% da energia incidente, transmite em torno de 10% e absorve ao redor de 80%, essas frações de radiação refletida, transmitida ou absorvida, não dependem somente das características biológicas do vegetal, mas também do comprimento de onda, do ângulo de incidência da radiação emitida sobre as folhas e do período diário de exposição da planta à luz solar, denominado fotoperíodo.

Segundo Robinette (1977), a quantidade de radiação solar refletida pelas folhas também varia em função da existência de fungos, bactérias, vírus entre outros, qualidade do solo, estação do ano e altitude.

De acordo com Ometto (1981), dentro do espectro de emissão solar a faixa compreendida entre 220 à 400 nanômetros é do ultravioleta, a faixa entre 400 à 700 nanômetros é do visível, estes impressionam a retina do olho humano dando-lhe a sensação de visibilidade. O estímulo dá-nos a sensação de cores. Assim no início da faixa do visível a vista é sensibilizada à cor azul e à medida que as bandas caminham para os 700 nanômetros vão aparecendo o verde, o amarelo, o laranja e o vermelho a partir daí passam a faixa do infravermelho de 700 à 4000 nanômetros.

Como a faixa de maior irradiância do espectro de emissão solar situa-se na região do verde, e conseqüentemente a maior reflexão das folhas das plantas é nessa região, compreende-se porque a clorofila é verde.

De acordo com Molinier, apud Castro (1999), a fotossíntese é um processo de síntese de compostos orgânicos, que consiste na síntese de carboidratos, utilizando dióxido de carbono e água e liberando oxigênio molecular iniciado com a absorção da luz solar.

Conforme Richardson, apud Furtado (1994), o balanço de CO_2 na atmosfera está sendo continuamente reduzido pela fotossíntese como mostra a Figura 11 e, ao mesmo tempo, continuamente aumentado pela respiração de plantas e animais e pela decomposição dos resíduos orgânicos. Assim, na atmosfera ele tem se apresentado bastante equilibrado, pois a quantidade produzida deste gás na respiração é, em média, consumida na fotossíntese.

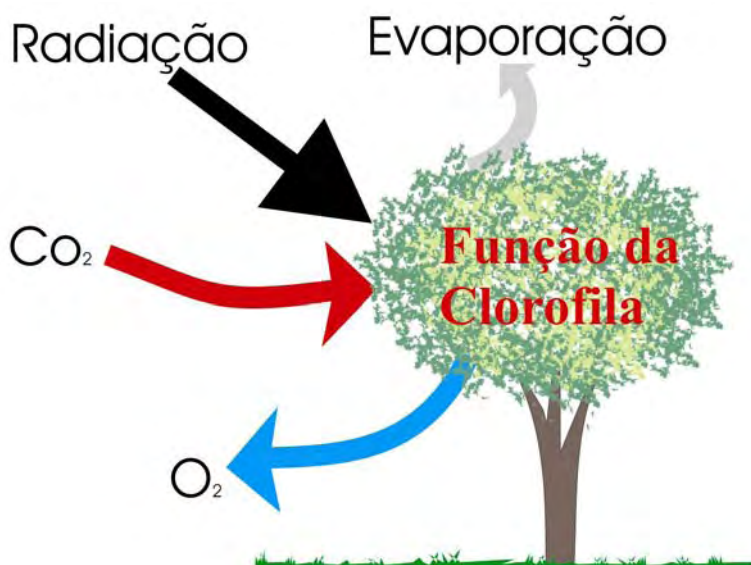


Figura 11. Interação da vegetação com a radiação solar.

Adaptada de: Izard & Guyot (1983).

4.4.2.2 Transpiração vegetal

Nem toda a água absorvida pelas plantas é utilizada na fotossíntese, uma parte é emitida para a atmosfera sob forma de vapor, na transpiração, através dos estômatos.

A transpiração das plantas e a evaporação direta da água da superfície do globo constituem um dos mais importantes fluxos da água e são elementos regularizadores dos climas. Assim, é importante definir três processos similares que ocorrem na natureza:

- Evaporação: definida como o processo físico pelo qual um líquido é transformado para o estado gasoso.

- Transpiração: processo pelo qual um vegetal elimina vapor d'água e ocorre nos processos tanto da fotossíntese quanto do resfriamento de sua superfície.
- Evapotranspiração: processo total de transferência de água para a atmosfera a partir das superfícies cobertas de vegetação, pois a evaporação e a transpiração ocorrem simultaneamente e não há como distinguir o vapor d'água de um ou de outro processo, conforme Tubelis (1984).

Da água absorvida pelas raízes da planta, baixa quantidade é retida e a maior parte é transmitida para o ar. A maioria das plantas terrestres transpira grande quantidade de água durante o seu ciclo, algumas chegam a perder em um único dia mais de duas vezes o seu peso.

Dos processos gerados pelo efeito da perda d'água por transpiração, a evaporação que produz o resfriamento da superfície do vegetal, talvez, seja o efeito físico mais importante. Pela grande quantidade de energia exigida na mudança de fase do líquido para o vapor, a evaporação fornece um mecanismo eficiente para dissipar o calor, cita Furtado (1994).

4.5 Efeitos físicos da vegetação

Nenhum efeito físico da vegetação que possa interferir no ambiente humano ocorre isoladamente, pois todas as funções do vegetal visando o controle climático estão interconectadas. A utilização da vegetação na melhoria da qualidade do ambiente físico e os seus efeitos são numerosos. Pode-se citar, por exemplo, a capacidade que desenvolve a vegetação em controlar e direcionar o movimento do ar interagindo no meio e afetando a temperatura, a taxa de evaporação e a velocidade da perda de umidade do vegetal e do solo. A falta de mais estudos sobre os efeitos climáticos dos vegetais em relação ao conforto humano tem alertado grupos interdisciplinares ao preenchimento desta lacuna.

4.5.1 Controle da radiação solar

A vegetação arbórea está entre os melhores dispositivos externos de controle da radiação solar. As árvores controlam os efeitos da radiação solar filtrando os raios diretos, através da absorção do calor irradiado da superfície do solo e pelo controle da radiação refletida, mas sua eficiência dependerá da forma, da natureza, das exigências específicas do vegetal e do clima local, de acordo com Furtado (1994). Na figura 12, observa-se o controle da radiação solar pela vegetação.

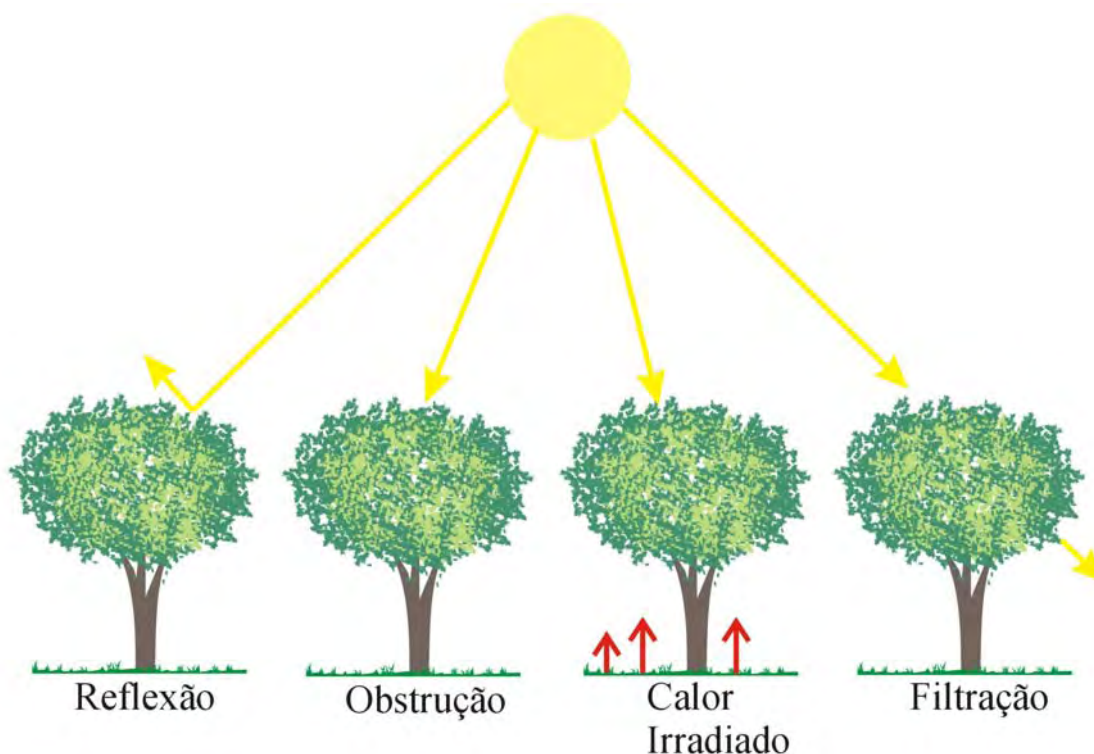


Figura 12. Controle da radiação solar pela vegetação.

Adaptada de: Robinette (1977).

Heisler et al. (1980), estudaram as radiações de onda curta, global e difusa incidentes em indivíduos arbóreos isolados, com o objetivo de determinar as diferenças entre as espécies e o efeito do tamanho e fenologia da árvore na transmissão da radiação. Os autores analisaram o efeito da radiação solar global e difusa, em campo aberto e sob a sombra

dos elementos arbóreos amostrados (árvores decíduas), considerando dias claros ou parcialmente nublados, e concluíram que mesmo sob as árvores que numa inspeção visual apresentavam ter copas similares, houve variações na transmissão da radiação, ocorrendo interceptação até quando estas se apresentavam sem folhas.

4.5.2 Controle do vento

O controle do fluxo do vento é outra forma de efeitos produzidos pela vegetação que afetam o conforto humano e é controlado por meio da obstrução, filtração e orientação da direção. Na Figura 13, observam-se esses efeitos.

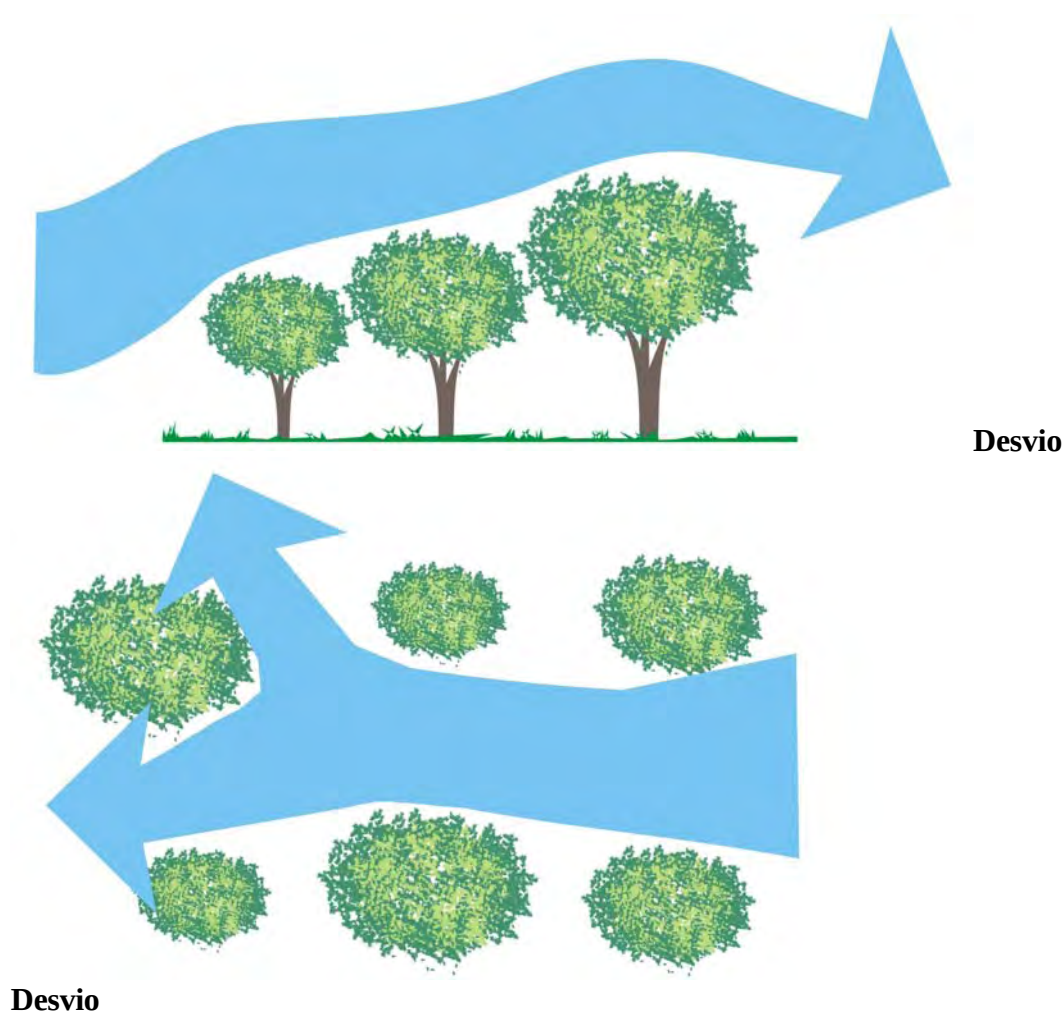


Figura 13. Controle do vento pela vegetação.

Adaptada de: Robinette (1977).

Os efeitos da temperatura podem ser minimizados pelo controle do vento. Este, em contato com o homem, provoca o resfriamento de seu corpo, não diminuindo sua temperatura mas causando uma sensação de resfriamento pela perda de calor por convecção e aumento da evaporação na superfície da pele.

Furtado (1994), comenta que o estudo conduzido pelo paisagista F.White sobre o controle do vento mostrou que a vegetação arbórea pode afetar a ventilação das edificações, se plantadas próximas às mesmas e, dependendo de sua localização, podem aumentar ou reduzir o fluxo de ar natural, provocando mudança na direção do vento no interior da construção. Cita, também, que as árvores podem ser usadas para canalizar os ventos aumentando a ventilação em áreas específicas.

De acordo com Sattler (1992), as alterações no regime de ventos criadas por um agrupamento de edificações, por exemplo, produzem condições de desconforto tanto nas vias de circulação urbana como em áreas próximas a elas e em seu interior. Embora por si só a vegetação não possa controlar essas condições de desconforto, pode, certamente, abrandar a sua intensidade com eficiência.

4.5.3 Controle da umidade

A umidade absoluta é definida como a quantidade de água que contém uma massa de ar seco (g/kg^{-1} ou g/m^{-3}). A umidade absoluta do ar saturado é a quantidade máxima de água que, em estado de vapor, é capaz de conter 1kg de ar seco a uma temperatura determinada e a umidade relativa é a relação dada, geralmente sob a forma de percentual, entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado na mesma temperatura, cita Rivero (1986).

A água retorna à superfície terrestre sob várias formas (chuva, neve, orvalho, entre outros) em função da temperatura e pressão do ar. Ao mesmo tempo, a umidade é transpirada ou evaporada pela superfície das plantas e pelo solo, para a atmosfera.

A vegetação, ao absorver a água das chuvas e devolvê-la à atmosfera, altera o nível de conforto no microclima, ao retirar umidade do solo e ao transpirar. As árvores

reduzem a evaporação da umidade do solo para a atmosfera, conservando-a e retendo-a. Por meio da adição de sua matéria orgânica, as plantas incrementam a porosidade do solo, ajudando-o na retenção da água. A proteção à radiação solar e ao vento também reduz a evaporação da água do solo.

4.5.4 Controle do microclima

A vegetação pode controlar a radiação solar, o movimento do vento e as porcentagens de umidade na atmosfera, afetando naturalmente as temperaturas próximas à superfície do solo.

Com a presença da vegetação a temperatura de uma área poderá ser reduzida, mesmo que não possua altura suficiente para fornecer sombra. Isto ocorre quando o vegetal dispersa ou absorve a radiação e durante o processo de evapotranspiração.

Izard & Guyot (1983) comprovaram que a vegetação arbórea contribui para a melhoria do microclima, tanto urbano quanto rural, pois tem a propriedade de reter partículas em suspensão no ar dez vezes mais que áreas gramadas e trinta e sete vezes mais que uma superfície asfaltada. Os autores sugerem que 30% da área urbanizada de uma cidade sejam reservadas para a vegetação, a fim de que esta possa cumprir sua função microclimática.

De acordo com Bernatzky (1982), uma área arborizada sombreada absorve menos calor durante o dia liberando-o mais rapidamente à noite, pois a vegetação arbórea não armazena calor em suas células, o que torna o microclima agradável.

Izard & Guyot (1983) salientam que a vegetação produz numerosos efeitos no microclima tanto do meio natural quanto do meio urbano. Afirmam que em um bosque com área de um hectare produz, pelo processo de evapotranspiração, aproximadamente 5000 toneladas de água por ano.

4.6 Benefícios da vegetação

A vegetação constitui-se em elemento de suma importância para a obtenção de níveis satisfatórios de qualidade de vida. Dentre os vários aspectos positivos

pode-se destacar: a sua importância como filtro ambiental, reduzindo os níveis de poluição do ar por meio da fotossíntese; a atenuação da poluição sonora pelos obstáculos que oferece à propagação das ondas de som; o equilíbrio da temperatura ambiente proporcionado pela sombra e evapotranspiração que realiza; a redução da velocidade dos ventos; a redução do impacto das chuvas; a atração para a avifauna e a harmonia paisagística e ambiental de um espaço.

De acordo com Miller (1988), um espaço arborizado, dependendo de sua área, densidade e composição em espécies, canaliza ar fresco, reduz enchentes nas áreas próximas mediante retenção temporária das águas da chuva, protege o entorno da poluição das vias expressas, reduz o calor emitido por edificações próximas melhora a qualidade do ar, previne ou atenua riscos naturais, conserva energia e recursos e contribui para a composição da paisagem.

Segundo Bernatzky (1982), a vegetação desempenha papel importante no controle da temperatura ambiente, velocidade e direção predominante dos ventos, umidade do ar, radiação solar e precipitação. Dessa forma, o efeito das árvores e áreas verdes deve ser analisado no contexto da constante deterioração climática.

Conforme Cunha (2002), o impacto das gotas de chuva no solo produz um deslocamento das partículas de terra que são transportadas pela enxurrada. A presença da vegetação diminui esse impacto e impede a remoção da camada mais superficial do solo que contém os elementos necessários ao desenvolvimento das plantas. Outra vantagem da vegetação é a sua interceptação das gotas de chuva, pois parte das gotas ficam retidas nas folhas e vão escoando lentamente. Dessa forma, o solo infiltra a água que, ao retornar para os rios é quantitativamente a mesma, mas devido à filtragem, é qualitativamente superior.

De acordo com Bernatzky (1982), a influência dos indivíduos arbóreos no ambiente envolve: resfriamento do ar; aumento da umidade relativa do ar; suprimento de ar fresco; filtração do ar; absorção de ruídos; produção de oxigênio. O autor ainda afirma que em ambientes urbanos, as áreas verdes não podem produzir tanto oxigênio quanto é consumido e que os gramados e indivíduos arbóreos produzem um suprimento emergencial bastante útil quando a ausência de ventos impede que o oxigênio das camadas mais elevadas desça a uma altura onde possa ser utilizado.

O resfriamento do ar não é somente resultado do sombreamento proporcionado pelas árvores, mas principalmente do seu consumo de energia para evaporação e outros processos fisiológicos, e que em média 60% a 75% da energia solar incidente na vegetação são consumidos nos processos fisiológicos. Assim, o equilíbrio nas trocas de calor por radiação nas regiões onde a vegetação está presente não ocorre, pois esta não armazena calor nas células. Como efeito adicional, consequência da evapotranspiração, tem-se o aumento da umidade relativa. O resfriamento e a filtração do ar, realizados pela vegetação arbórea, produzem melhores resultados do que aqueles realizados pelos gramados, pois quem controla esses efeitos é o volume foliar e não o tamanho das áreas verdes, cita Bernatzky (1982).

4.6.1 Redução da temperatura

Os vegetais interceptam, refletem, absorvem e transmitem a radiação solar, melhorando a temperatura do ar no meio ambiente. A eficiência do processo depende das características da espécie utilizada, tais como a forma da folha, a densidade foliar e o tipo de ramificação. O vento é outro fator que afeta o conforto humano e seu efeito pode ser positivo ou negativo, dependendo principalmente da presença de vegetação. No verão, a ação do vento retira as moléculas de água transpiradas por homens e árvores, aumentando a evaporação e, no inverno, produz aumento do resfriamento do ar.

De acordo com Castro (1999), o uso da vegetação como forma de contribuição para o controle das alterações climáticas pela redução dos extremos ambientais, diminui a temperatura do ar e o consumo de energia, e favorece a manutenção do ciclo oxigênio - gás carbônico, irradiando menor quantidade de calor que uma superfície construída.

Izard & Guyot (1983), em medições comparativas 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. Os autores comprovaram que, pela presença da vegetação, a umidade relativa aumentou em 5% e que as diferenças topográficas e a presença de água (um rio, por exemplo) nos centros urbanos, também influem na temperatura e umidade desses locais.

A vegetação adapta-se às condições dos ventos, controla a erosão e produz barreiras físicas e visuais proporcionando áreas para lazer e recreação e melhorando o conforto humano no ambiente construído.

Estudos sobre o uso da vegetação como atenuadora da temperatura em ambientes edificados são ainda restritos. Nesse contexto, averiguar a influência da vegetação como elemento minimizador das temperaturas no ambiente construído pode produzir informações importantes e de relevância para o conforto térmico desses espaços.

4.6.1.1 Consumo energético

O aumento do consumo de energia em função de alterações climáticas e suas preocupações econômicas que implicam em aumento de temperatura estão presentes em vários estudos.

De acordo com Akbari & Taha (1992), as alterações climáticas são, geralmente, as causas principais que produzem aumento na demanda energética. Os autores realizaram estudo em quatro cidades canadenses (Toronto, Edmonton, Montreal e Vancouver), sobre o potencial de uso da vegetação e de materiais de alto albedo na redução do consumo de energia, tanto para resfriar quanto para aquecer ambientes internos. Modelos computacionais simularam as mudanças microclimáticas, associadas ao aumento da cobertura vegetal e do albedo das superfícies nas áreas urbanas. Neste estudo, foram considerados balanços de energia e de umidade proporcionados pelas árvores e os efeitos das mudanças nos albedos das superfícies urbanas. Os autores concluíram que o consumo de energia para aquecimento, em Toronto, pode ser reduzido em média 10% nas áreas urbanas e 20% nas rurais e para resfriamento de ambientes pode diminuir 40% nas cidades e 30% nas áreas rurais. E que os valores médios na redução do consumo de energia para aquecimento foram de 8% em Edmonton, 11% em Montreal e 10% em Vancouver.

Bajwa (1995), na região do Golfo (Arábia), em estudo sobre a redução no consumo de energia, analisou, através de um protótipo, como a paisagem ao redor das residências influi nos ambientes internos. A vegetação foi considerada como controladora ou amenizadora das temperaturas nos interiores das edificações. Foram observados os tipos de cobertura vegetal tais como árvores, arbustos, trepadeiras, e gramado.

O autor em suas considerações ressalta que as árvores demoram um tempo considerável para amadurecer e, o impacto total de uma "paisagem conservadora de energia" pode ser sentido após anos de contínuo monitoramento. Porém, as medições iniciais indicaram como tendência, em residências isoladas, uma redução de pelo menos 65% no consumo de energia.

4.7 Sombreamento natural

O sombreamento tem como objetivo melhorar as condições de conforto humano nos espaços edificados, de tal forma que essas condições atuem quando os ambientes tornarem-se desconfortáveis devido à temperatura elevada e o uso de resfriamento artificial se prenuencie necessário.

Hayman (1989), em trabalho desenvolvido sobre os limites de precisão dos estudos gráficos das sombras, afirma que o Sol não é uma fonte pontual de radiação, seu diâmetro tem 32' de arco resultando em um desvio máximo de 16' ou $0,27^\circ$, gerando uma penumbra e sombras não paralelas. O efeito produz indefinições nas bordas de qualquer sombra e aumentam na largura conforme a extensão da mesma. O autor salienta que a rotação da Terra produz uma variação na posição da sombra durante o dia, devido à inclinação de seu eixo em relação ao plano de translação. Assim, o seu tamanho varia durante o ano de um máximo no solstício de inverno a um mínimo no solstício de verão. Na quantificação dessa variação é comum especificar a posição solar num ponto através de dois ângulos, altitude e azimuth. Define-se por altitude o ângulo vertical medido entre o Sol e o horizonte e azimuth o ângulo horizontal entre o plano de projeção da posição do Sol e o norte verdadeiro e estes podem ser calculados para qualquer local e horário do dia, baseando-se na sua latitude.

4.7.1 Sombreamento arbóreo ao ar livre

Os efeitos da arborização como atenuadora da radiação solar vêm despertando o interesse de vários pesquisadores, embora as informações sejam restritas no que se refere a sua qualificação e quantificação, pois os estudos estão baseados em metodologias diferenciadas.

O efeito do sombreamento pela vegetação arbórea produz, durante o dia, redução na temperatura do ar próximo à sua superfície. A quantidade dessa redução depende da espécie da árvore considerada e da densidade de sua copa, pois a absorção da radiação solar sob a copa de uma árvore é baixa e o calor que absorve, irradia e aquece o ar próximo à planta. Dessa forma, o ar quente sobe e fica retido na copa da árvore e, essa retenção está diretamente relacionada à densidade de sua folhagem.

Bueno et al. (1997), em estudo para qualificar a melhoria das condições climáticas no ambiente externo pela vegetação, compararam valores de temperatura ambiente, umidade relativa e temperatura de globo à sombra de indivíduos arbóreos e ao sol em campo aberto. Foram selecionadas e identificadas as espécies utilizadas para a arborização de ruas no município de Campinas - SP e escolhidas as espécies adultas: Cássia carnaval (*Senna spectabilis* var. *exelsa*), Chuva de ouro (*Cassia fistula*) e Escova de garrafa (*Callistemon viminalis*). Os autores observaram uma maior amplitude de temperatura ambiente em campo aberto, com diminuição significativa ao anoitecer. Com relação à umidade relativa, o comportamento da espécie Escova-de-garrafa foi distinto das outras espécies analisadas, com variações maiores ao longo do dia. Pelos dados coletados e analisados referentes à temperatura de globo, ficou evidenciado que a copa menos densa e o tamanho das folhas influem diretamente no calor radiante. A Cássia Carnaval e Chuva de Ouro foram as árvores que produziram melhores condições de conforto térmico.

Heisler (1982), mediu a radiação global e difusa, com a utilização de piranômetro, sob diferentes espécies arbóreas dos tipos London Plane, Pen Oak e Norway Maple. Os conjuntos de piranômetros foram instalados à sombra e ao sol, distantes 40 cm do solo. Pelos resultados, concluiu que em dias de céu claro, as árvores Pink Oak reduziram a radiação global acima de 70% e as London Plane acima de 86% e sem folhas estas reduções foram de 37% e 54%, respectivamente, com ângulo de elevação do sol em 60%. Não foram apresentados os dados com relação à espécie Norway Maple. Pelo estudo, ficou provado que os indivíduos arbóreos analisados, mesmo quando estavam sem folhas, apresentaram variações na transmissão da radiação.

Bueno (1998) estudou a atenuação da radiação solar incidente por diferentes indivíduos arbóreos, levando em consideração as características de cada espécie. As espécies selecionadas e analisadas foram: o jatobá (*Hymenaea courbaril*), ipê-roxo (*Tabebuia*

sp.) sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*), magnólia (*Michelia champacca*) e chuva-de-ouro (*Cássia fistula*), levando em consideração suas utilizações para a arborização urbana em Campinas – SP, acessibilidades aos locais de medições, a disposição de cada indivíduo e a uniformidade nas condições do entorno, como ausência de pavimentação e construções próximas. Pelo estudo, foi possível confirmar as suposições teóricas sobre a utilização de indivíduos arbóreos como atenuadores da radiação solar incidente e melhoria do conforto térmico. O autor concluiu que, quanto maior a atenuação da radiação solar incidente maior as variações da temperatura ambiente e menor as da temperatura de globo. Assim o resultado mais significativo foi obtido com a sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*).

No Brasil há outros trabalhos com as mesmas preocupações sobre o desempenho dos indivíduos arbóreos na atenuação da radiação solar. Entretanto são pesquisas ligadas ao conforto térmico de animais, principalmente de gado em pastagens e que se referem a aumento de produção.

Ghelfi Filho et al. (1996), em estudo para determinar o tipo de sombreamento adequado à pastagem, apresentaram uma avaliação térmica das sombras de duas espécies arbóreas: sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) e sapucaia (*Lecythis pisonis*), levando em consideração o tempo de crescimento, a qualidade da copa e a projeção da sombra. Na avaliação considerando-se os valores médios da temperatura de globo e da carga térmica radiante, a Sibipiruna apresentou uma temperatura menor, e os efeitos ficaram mais evidentes quando foi analisado o horário de maior incidência solar (15:00 horas) nos dias de maior desconforto do período estudado. No artigo os autores concluíram que para a quantificação do nível de conforto das sombras deve-se utilizar índices que considerem a energia radiante através da temperatura de globo e principalmente a velocidade do vento.

4.7.2 Sombreamento em edificações

De acordo com Mcpherson (1984), em uma edificação residencial típica, considera-se importante a proteção solar na fachada que recebe a radiação solar durante a tarde. Assim, o horário das 15:00 horas, corresponde ao período de temperatura máxima diurno. Em clima tropical, o sombreamento se faz necessário na maior parte do ano e vai além do período de superaquecimento, quando sua exigência torna-se maior.

Menezes (1996), em estudo sobre a influência da arborização no desempenho térmico de aviários através dos índices de conforto térmico e produção de ovos, comprovou que há um efeito altamente significativo da arborização na redução da temperatura interna dos aviários, na variação entre as temperaturas internas e externas da região, na temperatura de globo negro, nos índices de conforto térmico e, principalmente, na produção total de ovos.

Pelo estudo comparativo entre a região arborizada por Eucalipto e outra, sem arborização o autor constatou que, a temperatura interna às 16 horas, dos aviários localizados na região arborizada, foi 3°C inferior àquelas encontradas nos aviários da região não arborizada. E que nos aviários localizados na região arborizada houve uma redução de 3,3°C na temperatura de globo negro, redução de 22,5 W/m² da carga térmica de radiação e aumento na produção de ovos de 23,1%, quando comparados com a região não arborizada.

Sattler et al. (1987), em estudo sobre as geometrias das sombras proporcionadas por várias formas diferentes de copas de árvore, usou, como ferramenta de projeto um programa de computador que avalia os efeitos das sombras das árvores em relação às edificações. O programa determina a área e a posição da sombra de um indivíduo arbóreo isolado ou em grupo, em uma superfície com qualquer orientação e inclinação, fornecendo dados numéricos e gráficos, horários entre o nascer e o por do sol, para qualquer dia do ano, local da Terra e posição relativa entre a árvore e a edificação. Pelo estudo, são reconhecidos quatro tipos de sombra diferentes: esférica, cilíndrica, cone vertical e cone invertido, além das suas combinações. Os autores salientam que os resultados obtidos com esse programa podem ser usados tanto para prevenir o sombreamento de janelas, paredes e coletores solares, quando houver necessidade de ganhos com a radiação, ou para se beneficiar dele, utilizando-se a vegetação como mecanismo para sombreamento em local onde o clima o requer. Afirmando que, em ambos os casos, há necessidade de informações adicionais sobre a transparência das árvores em relação à radiação solar. Na Figura 14, observam-se os diferentes tipos de formas de copas.

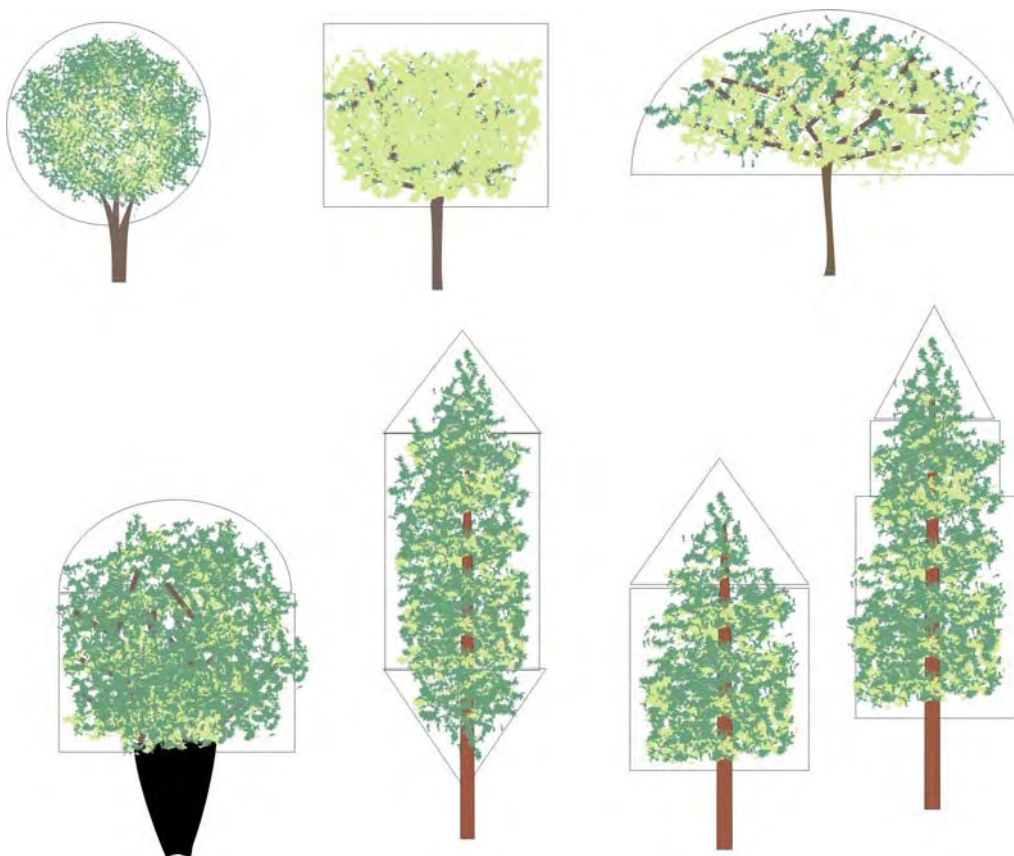


Figura 14. Formas de Árvores

Adaptada de: Sattler et al.(1987).

A transparência das árvores com relação à radiação solar tem gerado grande interesse entre os pesquisadores atraídos pela inexistência de valores confiáveis para se planejar o meio urbano ou projetar edificações visando o conforto humano.

Silva et al. (1996), no estudo sobre a redução da carga térmica radiante pelo sombreamento produzido pela arborização, analisaram três espécies arbóreas e compararam os resultados aos obtidos em um galpão coberto com telhas de fibro-cimento (tipo canaleta 90) e a céu aberto.

Os resultados da comparação dos índices mostraram que indivíduos arbóreos de copa densa e baixa e folhas largas não são recomendados sob o ponto de vista do conforto térmico, pois a estrutura da copa dificulta a ventilação em função da ascensão do ar quente, tornando mais difícil a sua dissipação. Pelas conclusões, das três espécies analisadas a que proporciona a sombra com a melhor qualidade térmica é a Sibipiruna (*Caesalpinia*

peltophoroides), em segundo lugar a Tipuana (*Tipuana tipu*), e por ultimo a Sapucaia (*Lecythis pisonis*),

De acordo com Mcpherson & Rowntree (1986), estudos comprovam que a superfície externa de uma fachada sombreada pela vegetação pode estar 5°C mais fria que uma superfície exposta ao sol, desde que construída com o mesmo material e apresentando as mesmas características construtivas.

4.8 A Vegetação e a edificação

Além da energia recebida pela radiação solar direta e pela radiação solar difusa, a edificação recebe, também, a energia solar refletida pelo chão ou pelas construções vizinhas, o que pode alterar a radiação total recebida e por consequência, os critérios de orientação.

4.8.1 Carga térmica de radiação na edificação

As árvores, em grupos ou até mesmo isoladas, atenuam grande parte da radiação incidente, impedindo que sua totalidade atinja as construções.

A maior carga térmica de radiação provém da radiação solar. Num clima tropical o sombreamento e a ventilação se constituem nos elementos fundamentais para o conforto térmico. A vegetação é o elemento natural que pode obstruir a radiação solar direta, difusa, refletida e de ondas longas, pois durante o dia, pela sua sombra, reduz a temperatura do ar próximo a superfície e por transpiração produz o resfriamento da superfície transpirante. Assim, a vegetação fornece mecanismo para dissipar o calor, influenciando o fluxo do vento que pode aumentar ou diminuir conforme as características do vegetal. Na Figura 15, observa-se o balanço de energia de uma edificação.

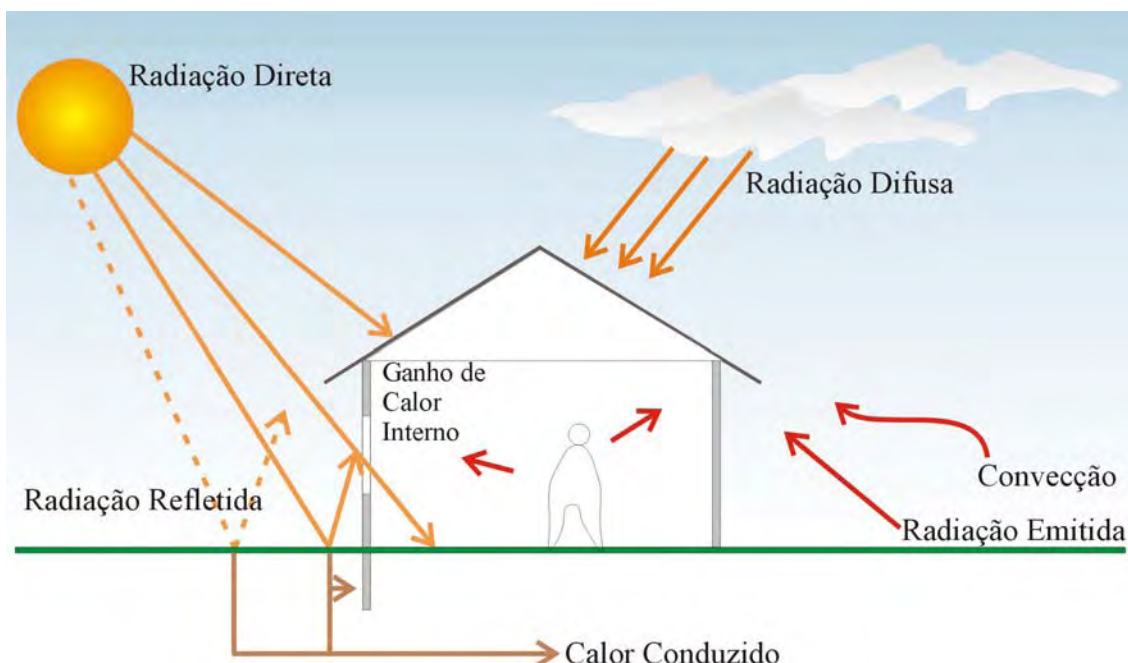


Figura 15. Balanço de energia na edificação

Adaptada de: Mcpherson (1984)

A troca de calor por convecção também ocorre se uma parede está sombreada e mais fria do que o movimento de ar próximo a ela. Se as superfícies do solo adjacentes não estão sombreadas nem cobertas com vegetação, o ar acima do solo pode estar mais quente do que a temperatura de superfície da parede sombreada devido à emissão de onda longa. A parede é aquecida pelo movimento de ar e por condução pode transferir este calor para o interior da edificação. Assim, quando a temperatura do solo é mais elevada do que a da parede ou teto adjacentes, pode ocorrer a condução e ganho de calor para o seu interior. Outro ganho de calor interno de uma edificação é aquele gerado por eletrodomésticos, iluminação artificial e pessoas.

A ventilação pode provocar ganho térmico quando o ar exterior estiver mais quente do que a temperatura interna da edificação. Cria-se uma curva convectiva, pois os gradientes de pressão se elevam causando uma saída do ar interior próximo ao chão e ao mesmo tempo o ar quente exterior infiltra por meio de aberturas superiores.

Morgan (1990), afirma que a radiação solar representa cerca 74% da carga térmica transferida para o interior de um galpão e que a cobertura é o elemento

construtivo onde ocorre a principal entrada dessa carga térmica, daí o interesse em se estudar a interferência de materiais de cobertura, orientação da construção, projeção do telhado, insolação e vegetação do entorno.

O estudo da insolação é indispensável em projetos de edificações, pois fornece a quantidade de energia que está incidindo sobre um determinado plano. Essa quantidade de energia recebida pela edificação é função da latitude e da orientação dos planos. No hemisfério sul, em regiões com verões quentes, os planos que recebem maior radiação são os horizontais e, dentre os planos verticais, os voltados para o norte recebem maior quantidade de energia no inverno do que no verão, sendo os mais favoráveis depois dos planos orientados para o sul. Já os planos orientados para leste e oeste recebem maior energia no verão.

4.8.2 Interação entre a vegetação e edificação

No sombreamento de uma edificação a seleção da vegetação adequada depende, principalmente, da altura e do azimute do sol nos períodos de maior intensidade de radiação solar, que correspondem aos dias mais quentes do ano.

De acordo com Mcpherson (1984), nas edificações a vegetação propicia resfriamento passivo por meio de:

- Sombreamento lançado pela vegetação, que reduz a conversão da energia radiante em calor sensível, reduzindo as temperaturas de superfície dos objetos sombreados.
- Evapotranspiração na superfície da folha, resfriando a folha e o ar adjacente devido à troca de calor latente.

Explorar melhor estes dois meios e permitir a ventilação quando for desejada são objetivos a serem alcançados. Desse modo, a escolha da localização da vegetação para proporcionar o controle da radiação solar deve ser avaliada dentro de determinados critérios.

Os Diagramas Solares que identificam as diferentes trajetórias do sol durante o ano permitem maximizar o sombreamento no verão e, se necessário, minimizá-lo no inverno por meio de disposição correta da vegetação.

Para escolha e localização da vegetação adequada, em primeiro lugar faz-se necessário à análise climática que deve orientar se há necessidade do resfriamento e qual a sua importância para a edificação, cita Rivero (1986).

Sabendo-se a época do ano em que o sombreamento é importante, deve-se observar a localização da posição do sol para plantio da vegetação, de forma tal que sua copa bloqueie a insolação durante o período em que o resfriamento for necessário.

Em clima tropical, as temperaturas externas estão acima de 21 °C em grande parte do ano, o que torna impossível sob diversos aspectos localizar a vegetação de forma a sombrear uma edificação durante o período inteiro de superaquecimento.

A localização da vegetação para sombrear uma edificação deve permitir um ótimo desempenho no resfriamento e produzir também economia de energia. Dessa forma, a vegetação localizada entre a edificação e o Sol durante o pico do período de verão deve ser prioritária, pois este é o período em que as temperaturas do ar alcançam seu pico e o consumo de energia para condicionamento do ar interno é maior, cita Furtado (1994).

Geralmente, o período que se necessita de resfriamento, coincide com o período de temperatura máxima do ar, quando o sombreamento pela vegetação se pronuncia mais necessário, produzindo dessa maneira reduções na temperatura e economia de energia.

Heisler (1986), comprovou no estudo sobre os efeitos da proximidade das árvores em uma edificação que há uma considerável variação na economia de energia. Assim, enfatiza que a presença da vegetação pode aumentar, diminuir ou ter pouco efeito sobre o consumo de energia, pois essa variação está diretamente relacionada ao tipo de clima, de edificação, à localização e características das espécies arbóreas implantadas.

De acordo com Rivero (1986), ao utilizar a vegetação para controle solar, deve-se considerar o desempenho térmico de cada material utilizado nas edificações. As janelas envidraçadas, por exemplo, rapidamente transmitem radiação solar, mas são quase sempre opacas à radiação de onda longa e dessa forma contribuem para aumento do ganho térmico no interior da edificação.

A condução de calor por telhados e paredes, que geralmente se equivalem em importância, dependem das características dos materiais empregados na construção e da área exposta à radiação solar. A perda de calor mais relevantes no controle solar é a radiação e a convecção. Quando o calor é irradiado para objetos mais frios ao redor

da edificação há o resfriamento. Em tardes de poucas nuvens quando ocorre perda de calor via radiação para o céu frio, a radiação é realmente efetiva, de acordo com Furtado (1994).

Para a aplicação da arquitetura bioclimática, é necessário que se tenha uma interação entre edificação e a vegetação, e que se possa produzir resultados tanto no campo econômico como no aspecto da construção do ambiente, proporcionando ao usuário do espaço conforto e qualidade de vida.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Com a finalidade de avaliar as características das sombras de duas espécies arbóreas e sua interferência quanto a atenuação da temperatura em ambientes internos de edificações abertas, produzido pelo sombreamento das árvores, foi instalado uma pesquisa na Embrapa Agropecuária Oeste.

5.1 Caracterização da área de estudo

A área de implantação da pesquisa pertence a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) unidade Embrapa Agropecuária Oeste. Localizada na zona rural, rodovia Br 163, Km 6, no município de Dourados-MS, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 22° 14' 00'' S, longitude 54° 49' 00'' W e altitude 452 m.

O clima caracteriza-se como quente e úmido no verão e ameno e seco no inverno, com possibilidade de ocorrência de geadas. A precipitação média anual é de 1400 mm e a temperatura média anual é de 25°C no verão e 18°C no inverno, de acordo com Embrapa (1999).

5.2 Caracterização da vegetação

Nesse estudo de sombreamento arbóreo em edificações foram cumpridas as seguintes etapas:

- Levantamento e seleção das espécies a serem analisadas;
- Caracterização das espécies selecionadas;
- Seleção dos locais de realização o levantamento;
- Métodos de medições;
- Medições de campo.

5.2.1 Levantamento e seleção das espécies a serem analisadas

Antes de iniciar o trabalho de campo foi realizado um levantamento, junto à Prefeitura Municipal da cidade de Dourados, para a verificação das espécies produzidas no viveiro de mudas do município e mais utilizadas na arborização da cidade. Para seleção foram consideradas as características das árvores quanto sua adaptação e desenvolvimento conforme o clima local. Com os dados do levantamento quantitativo determinou-se o quadro das espécies arbóreas mais utilizadas, por ordem decrescente (Quadro 1).

Quadro 1 Espécies arbóreas mais utilizadas na arborização urbana pela Prefeitura Municipal de Dourados-MS.

Nome popular	Nome científico	Nome popular	Nome científico
Sibipiruna	<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	Ipê amarelo	<i>Tabebuia serratifolia</i>
Flamboyant	<i>Delonix regia</i>	Jacarandá mimoso	<i>Jacaranda mimosifolia.</i>
Ipê roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>
Oiti	<i>Licania tomentosa</i>	Ficus benjamim	<i>Ficus benamina</i>
Pata de vaca	<i>Bauhinia longifolia</i>	Munguba	<i>Pachyra aquatica</i>
Skinus moles	<i>Schinus molle</i>	Tipuana	<i>Tipuana tipu</i>
Pau-ferro	<i>Caesalpinia férrea</i>	Cássia de java	<i>Cassia javanica</i>
Mangueira	<i>Maganifera indica</i>	Cássia Spciosa	<i>Senna aceranthera</i>
Resedá	<i>Physocalymma scaber</i>	Fícus	<i>Ficus calytroceras</i>
Quaresmeira	<i>Tibouchina granulosa</i>	Palmeira imperial	<i>Roystonea regia</i>
Ipê rosa	<i>Tabebuia avellanadae</i>	Sete copas	<i>Terminalia catappa</i>

Nas Figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21, são mostradas as seis espécies arbóreas mais utilizadas na arborização da cidade de Dourados.



Figura 16. Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*).



Figura 17. Flamboyant (*Delonix regia*).



Figura 18. Ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa*).



Figura 19. Oiti (*Licania tomentosa*).



Figura 20. Pata de vaca (*Bauhinia longifolia*).



Figura 21. Skinus moles (*Schinus molle*).

Com os dados e informações obtidos junto aos órgãos competentes e considerando os equipamentos medidores de temperatura disponíveis para a realização da pesquisa, optou-se por trabalhar com as duas espécies arbóreas mais utilizadas na arborização de Dourados e o verão foi a estação escolhida para as medições, por ser, historicamente, o período do ano em que as temperaturas, apresentam-se mais elevadas. Dessa forma, foi feita a busca de localização dos indivíduos arbóreos que cumprissem determinados requisitos como:

- serem consideradas adultas (idade biológica);
- características físicas representativas em relação à espécie;
- estarem situadas em locais onde trânsito de pessoas e o sombreamento de edificações não interferissem nas medições.
- forma da copa da árvore semi-esférica, de acordo com Sattler et al. (1987).

Levando-se em consideração os aspectos acima, foram selecionadas as espécies Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) e Flamboyant (*Delonix regia*).

5.2.2 Caracterização das espécies selecionadas

Para a caracterização dos indivíduos arbóreos analisados foram feitas medições de campo considerando os dados obtidos em cada árvore selecionada levando em consideração altura da árvore e do fuste, diâmetro do tronco e da copa, rugosidade do tronco, comprimento, largura e cor da folha e densidade da copa. Para as medições foram utilizadas régua graduada de 0,50m e trena com 15m de comprimento. Na obtenção dos dados de densidade de copa foram tomados uma área de sombra de 1,00m x 1,00m descontados as áreas em que houve a passagem da radiação solar e, a partir daí, foi classificada de acordo com Blossfeld, apud Furtado (1994), que define três tipos de densidade com os percentuais de obstrução da radiação solar: Rala = 1% a 30% ; Média = 31% a 74% ; Densa = 75% a 100% de obstrução. As duas espécies selecionadas foram classificadas por densidade média e, para a obtenção dos diâmetros do tronco foram medidas a uma altura de 1,80m do solo.

Nos dois indivíduos arbóreos analisados a cor da folha foi definida como verde médio e que, de acordo com Hickethier, apud Plazola & Plazola (1978),

representado pelo cubo das cores ou cubo de Hickethier, classificam-se em: verde; verde médio; verde claro.

5.2.2.1 Característica geral das espécies selecionadas

Como características gerais das espécies selecionadas a Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) é nativa do Brasil. Lorenzi (1992).

Características morfológicas: altura de 8-16 m, tronco de 30-40 cm de diâmetro. Folhas compostas bipinadas de 20-25 cm de comprimento, com 17-19 pares de pinas; folíolos em número de 13-27 por pina, de 10 -12 mm de comprimento.

Informações ecológicas: árvore semidecídua, heliófita, indiferente às condições físicas do solo. É característica da Mata Pluvial Atlântica. Produz anualmente grande quantidade de sementes.

Fenologia: floresce a partir do fim de agosto até meados de novembro.

Madeira: dura, moderadamente pesada, textura média e não muito boa durabilidade natural.

Utilidade: por sua copa ser bastante ornamental, é, atualmente, uma das espécies nativas mais cultivadas para arborização de ruas do centro-sul do país. Árvore de médio a rápido crescimento, também é indicada para plantios mistos em áreas degradadas de preservação permanente.

Ocorrência: Mata Atlântica do Rio de Janeiro, sul da Bahia e Pantanal Matogrossense. Ocorre tanto no interior da mata primária como em formações abertas.

A outra espécie analisada foi o Flamboyant (*Delonix regia*) árvore exótica. Como características gerais dessa espécie pode-se citar:

Características morfológicas: altura de 6-15 m, tronco de 30-60 cm de diâmetro. Folhas compostas bipinadas de 20-40 cm de comprimento, com 10-15 pares de pinas; folíolos em número de 12-25 pares por pina.

Informações ecológicas: árvore caducifólia.

Fenologia: floresce durante os meses de novembro até o início de dezembro, as cores dominante das flores são a vermelha e a alaranjada. Cada flor mede 10 a 12 cm de diâmetro. A frutificação por meio de vagem ocorre nos meses de dezembro a janeiro..

Madeira: moderadamente pesada, abundante e de textura média.

Utilidade: árvore de crescimento rápido, é indicada para a composição de parques, praças e avenidas. Sensível ao frio necessita de muito sol e temperaturas amenas para produzir uma floração abundante. Devido à beleza de sua floração, é uma das espécies mais utilizadas na arborização de grandes áreas.

Ocorrência: nativa de Madagascar, hoje é cultivada nos trópicos e subtropicais de todo o mundo.

5.2.3 Seleção do local de realização do levantamento

A escolha do local para a instalação da pesquisa ficou relacionada às espécies utilizadas pela Prefeitura na arborização urbana e por fatores físicos referentes ao meio em que o indivíduo arbóreo localizava-se. Ao mesmo tempo em que uma das espécies selecionadas era procurada, era analisada sua localização e considerada a sua adequação à pesquisa.

Para a realização das medições, cabe ressaltar a dificuldade em encontrar indivíduos arbóreos em condições consideradas ideais, principalmente por se tratar de pesquisa onde as interferências do entorno fossem mínimas para a composição dos resultados.

Nessa escolha, foram observados os seguintes pontos:

- Disposição e localização da espécie a ser analisada em relação ao entorno que permitisse a correta realização das medições tais como: ausência de sombra de edificações ou de outras árvores, topografia do terreno ao redor da árvore.
- Na implantação dos equipamentos, foi determinante a acessibilidade ao local e a restrição à interferência de pessoas e animais.
- Uniformidade das condições quanto ao tipo de revestimento do solo para a implantação dos dois módulos.

A Embrapa Agropecuária Oeste, foi o local escolhido, por apresentar várias espécies do Quadro 1 e fornecer condições adequadas para a realização da pesquisa.

A Figura 22, mostra o mapa do local onde a pesquisa foi implantada.

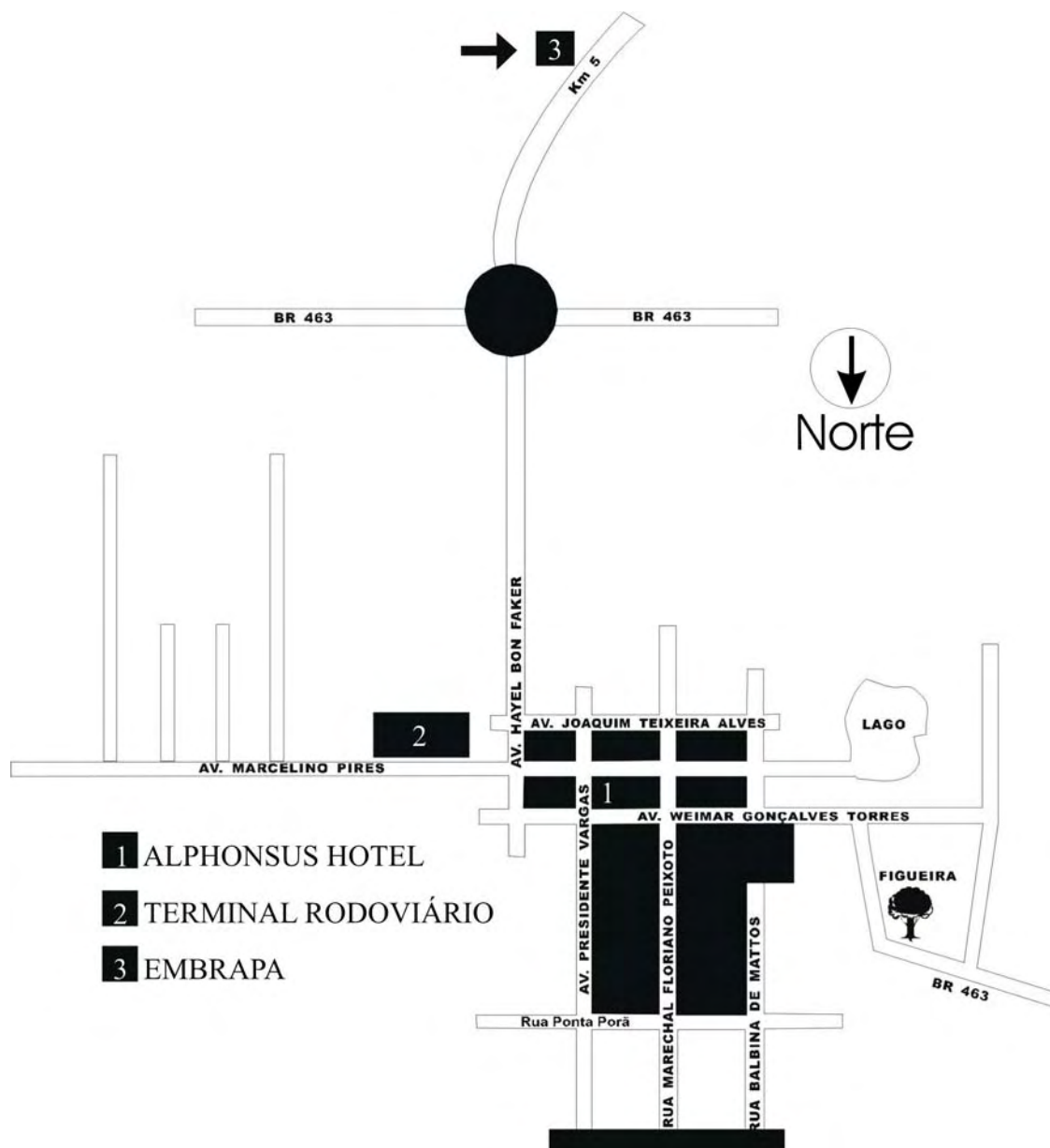


Figura 22. Mapa do local de realização da pesquisa.

5.2.4 Métodos de medições

Nas medições de temperatura de globo, temperatura do ar e velocidade do vento, foram utilizados dois termômetros de globo negro, dois psicrômetros a ventilação

natural e um anemômetro. Estes equipamentos, medidores de temperatura, foram implantados no interior dos dois módulos de edificações pré-moldados, com exceção do medidor de velocidade do vento, o anemômetro, que foi utilizado o da estação meteorológica da empresa Embrapa Agropecuária Oeste, localizada no município de Dourados no Estado de Mato Grosso do sul.

5.2.4.1 Módulo de edificações

Para a fixação dos aparelhos medidores de temperatura foram construídos dois módulos de edificação pré-moldados, em estrutura de madeira e cobertura de telha em fibro cimento com espessura de placa de 6mm e sem pintura. As dimensões dos módulos foram de 2,50m de largura e 2,00m de profundidade, dimensão do piso até o teto de 2,30m (altura mínima de pé direito permitida pelo código de obras local) e com inclinação de telhado em 30%. A estrutura pré-moldada foi construída totalmente aberta em suas faces, de maneira que permitisse a circulação do ar e pudesse proporcionar uma interação entre os meios externo e interno. A Figura 23, mostra a estrutura pré-moldada construída.



Figura 23. Módulo de edificação.

5.2.4.2 Instrumentos de medições

Os psicrômetros e os termômetros de globo negro foram colocados e fixados a uma altura de 1,30m do solo por meio de apoios metálicos e dispostos em conjunto no

interior de cada módulo. Assim, um dos módulos foi implantado à sombra do indivíduo arbóreo analisado e outro ao sol. A localização da altura dos equipamentos foi definida em função da altura média do peito de uma pessoa.

Os psicrômetros utilizados constituíam-se de dois termômetros:

- O termômetro de bulbo seco utilizado para as medições de temperatura ambiente, com escala de -10°C a 110°C onde a menor divisão corresponde a 1°C .
- O termômetro de bulbo úmido com as mesmas especificações descritas anteriormente e bulbo coberto por gaze umidecida.

A partir da leitura dos psicrômetros determinou-se a umidade relativa do ar.

O termômetro de globo negro ou globo-termômetro é uma esfera oca de cobre com 0,15 m de diâmetro, parede com 0,0005 m de espessura, enegrecida externamente. Em seu interior há um bulbo de termômetro de mercúrio capilar reto com escala de -10°C a 110°C e onde a menor divisão corresponde a 1°C .

Para medição da velocidade do vento foi utilizado um anemômetro instalado na Estação Meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste, a 2 metros da superfície do solo. O sinal digital da velocidade do vento é processado eletronicamente por um circuito integrado e indicado num painel digital com três dígitos.

As Figuras 24, 25, 26 e 27 mostram respectivamente o psicrômetro, o suporte metálico para fixação, o termômetro de globo negro e o anemômetro.



Figura 24. Psicrômetro



Figura 25. Suporte metálico para fixação



Figura 26. Termômetro de globo negro.



Figura 27. Anemômetro.

5.2.4.3 Épocas de medições e fixação dos equipamentos

As medições de campo foram realizadas no verão de 2003, no mês de março para a Sibipiruna e no verão de 2004, no mês de janeiro para o Flamboyant. Na análise

do sombreamento em cada uma das espécies arbóreas foram considerados os dias em que as condições do tempo estavam com céu claro ou parcialmente nublado (com nuvens esparsas) e desconsiderados os dias que permaneceram nublados ou ocorreram precipitação durante o período de medição.

Os equipamentos foram fixados em suportes metálicos a uma altura de 1,30 m e colocados no interior de cada um dos módulos, dispostos da seguinte maneira:

- No interior do módulo exposto ao sol: um psicrômetro e um termômetro de globo;
- No interior do módulo à sombra da árvore analisada: um psicrômetro e um termômetro de globo.

Os equipamentos colocados no interior do módulo e localizado à sombra do indivíduo arbóreo analisado, permaneceram ao longo do dia sombreados pela cobertura e esta pela sombra da copa da árvore.

O estudo para fixação do módulo à sombra da árvore investigada teve como objetivo possibilitar que o telhado permanecesse sombreado durante os horários em que as medições ocorressem.

O objetivo de instalar, ao mesmo tempo, os equipamentos no interior dos módulos sob a sombra dos indivíduos arbóreos e ao sol foi comparar os valores coletados.

Os equipamentos foram colocados simultaneamente no interior do módulo localizado à sombra da árvore investigada e do módulo ao sol, instalados a partir das 7:15h de maneira que a primeira medida foi coletada sempre às 8:15h, após uma hora da fixação dos aparelhos. As coletas foram realizadas em intervalos de uma hora de maneira que a última medição do dia ocorreu às 16:15h. Durante o período de coleta os diâmetros das copas da sibipiruna e do flamboyante foram suficientes para manter os equipamentos sombreados.

5.2.4.4 Equações utilizadas para o cálculo das medidas

Foram elaborados quadros com os dados de temperatura de globo (T_g), temperaturas de bulbo seco (T_s) e temperatura de bulbo úmido (T_u) e, a partir daí, calculados

os valores de umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e também foram coletados os dados de velocidade do vento.

Para uma melhor visualização dos dados coletados, foram construídos quadros comparativos referentes a cada uma das medições obtidas nos módulos localizados à sombra de cada indivíduo arbóreo analisado e ao sol.

Os valores de umidade relativa do ar para psicrômetro sem aspiração e pressão atmosférica de 750mmHg foram calculados por expressões matemáticas que consideram as medidas dos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido. O índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) foi calculado pela expressão proposta por Buffington et al. (1981), determinado pelas medições de temperatura de globo negro e termômetro de bulbo úmido.

Adotou-se como parâmetro de normalização, para cada avaliação dos indivíduos arbóreos, a temperatura no interior do módulo localizado ao sol, com o objetivo de quantificar o efeito da sombra de cada uma das árvores analisadas.

Para essa normalização, propõe-se o cálculo das variações relativas da temperatura do ar pela Equação 1:

$$VR_{T_A} = \frac{T_{A\text{ Sol}} - T_{A\text{ Sombra}}}{T_{A\text{ Sol}}} \cdot 100 \quad (1)$$

onde:

VR_{T_A} = variação relativa da temperatura do ar (%);

$T_{A\text{ Sol}}$ = temperatura do ar no módulo localizado ao sol (°C);

$T_{A\text{ Sombra}}$ = temperatura do ar no módulo localizado à sombra do indivíduo arbóreo analisado(°C);

Com as temperaturas obtidas nos globos negro utilizou-se a Equação 2:

$$VR_{T_G} = \frac{T_{G\text{ Sol}} - T_{G\text{ Sombra}}}{T_{G\text{ Sol}}} \cdot 100 \quad (2)$$

onde:

VR_{TG} = variação relativa da temperatura de globo (%);

T_{Gsol} = temperatura de globo no módulo ao sol (°C);

$T_{Gsombra}$ = temperatura de globo no módulo à sombra do indivíduo arbóreo analisado (°C).

Calculou-se a média horária dessas variações relativas, tanto para as temperaturas do ar como para as temperaturas de globo negro, para cada árvore analisada, dada pela Equação 3:

$$M_v = \frac{Vr1 + Vr2 + Vr3 + Vr4 + Vr5}{5} \quad (3)$$

onde:

M_v = média das variações relativas (%);

VrN = variação relativa de temperatura no dia N analisado(%).

Calculou-se, também, as médias horárias dessas variações relativas dos índices de temperatura de globo e umidade e das umidade relativa do ar, para as árvores analisadas.

Os valores de umidade relativa foram calculados a partir das temperaturas de bulbo seco (T_s) e de bulbo úmido (T_u) dos psicrômetros a ventilação natural. Para os cálculos foi utilizada a Equação 4:

$$UR = 100 \times \frac{e_a}{e_s} \quad (4)$$

onde:

UR = umidade relativa

e_a = pressão parcial do vapor d'água (mb);

e_s = pressão de saturação do vapor d'água (mb).

Para a obtenção dos valores da tensão de vapor na saturação (e_s) utilizou-se a equação de Tetens (5), apud Pereira et al. (2002):

$$e_s = 0,6108 \times 10^{\left(\frac{7,5 \times T_{ar}}{237,5 + T_{ar}} \right)} \quad (5)$$

onde:

e_s = pressão de saturação do vapor d'água (KPa);

T_{ar} = temperatura do ar (°C).

Conforme Pereira et al (2002), os valores da pressão parcial de vapor d'água (e_a) foram calculados a partir da relação entre a massa de vapor pelo volume de ar (g H₂O. m⁻³de ar).

Depois de obtidos os valores de " e_a " e " e_s ", foram substituídos na equação 4.

Para a quantificação do ambiente térmico, um dos índices mais utilizados é o proposto por Buffington et al. (1981), que incorpora a temperatura de globo negro ao índice de temperatura e umidade em substituição à temperatura de bulbo seco. Desta forma, o ITGU engloba, num único valor os efeitos da temperatura, velocidade do vento, umidade relativa e da radiação, sendo definido pela equação 6:

$$ITGU = 0,72 (T_{gn} + T_{bu}) + 40,6 \quad (6)$$

Onde:

T_{gn} = temperatura de globo negro (°C)

T_{bu} = temperatura de bulbo úmido (°C)

Foram calculados os valores das médias diárias das temperaturas de globo negro, temperaturas do ar, índice de temperatura de globo e umidade e umidade relativa do ar, dos dias selecionados para cada uma das árvores.

5.2.4.5 Análise estatística dos dados

Os dados das espécies Sibipiruna e Flamboyant foram analisados separadamente uma vez que foram coletados em anos, meses e dias diferentes. Desta forma, foram considerados na modelagem dos dados os seguintes fatores: ambientes (sombra e sol),

horários (8:15, 9:15, 10:15, 11:15, 12:15, 13:15, 14:15, 15:15 e 16:15 horas) e dias (tomados como blocos). Então, o modelo linear geral assumido para os fatores estudados foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \gamma_k + \varepsilon_{ijk} \quad (7)$$

Em que:

Y_{ijk} : observação referente ao i-ésimo ambiente, no j-ésimo horário e no k-ésimo.

μ : dia médio geral (bloco)

α_i : efeito do i-ésimo ambiente

β_j : efeito do j-ésimo horário

$\alpha\beta_{ij}$: efeito de interação entre o i-ésimo ambiente e o j-ésimo horário

γ_k : efeito do k-ésimo dia (bloco)

ε_{ijk} : erro experimental, admitido $\sim N(0, \sigma^2)$

Tanto para o conjunto de dados da espécie *Sibipiruna* quanto para a espécie *Flamboyant*, os níveis do fator horários foram considerados como medidas repetidas dentro de cada ambiente. Assim, foi utilizada a metodologia de modelos mistos, que é mais apropriada para estes dados, admitindo-se efeitos fixos para os fatores ambientes e horários e efeito aleatório para o fator dias (blocos). O modelo linear misto, em notação de matrizes tem a forma seguinte:

$$Y = X\beta + Zv + \varepsilon \quad (8)$$

Y : vetor de observações univariadas;

β : vetor desconhecido de efeitos fixos relacionados com a matriz modelo (delineamento) conhecida X ;

v : vetor desconhecido de efeitos aleatórios relacionados com a matriz conhecida Z ;

ε : vetor desconhecido de erros aleatórios (resíduos).

A análise de medidas repetidas baseada em modelos mistos foi realizada utilizando-se o procedimento MIXED do sistema SAS (Littell et. al., 1998).

O efeito do fator horário foi interpretado por meio de equações de regressão polinomiais, utilizando-se o aplicativo computacional SAEG (Ribeiro Júnior, 2001).

Os níveis do fator ambiente (sombra e sol) foram comparados por meio do teste.

5.2.5 Medições de campo

Durante os meses de março de 2003 e janeiro de 2004 foram selecionados, para a pesquisa, os cinco dias que apresentaram condições semelhantes a um dia típico, sem ocorrência de precipitação. De acordo com Embrapa (1999), Dourados apresenta verões quentes e chuvosos.

Os dias selecionados para a obtenção dos dados, nas medições da sibipiruna, foram: 13, 14, 17, 19, 20 de março de 2003 e para o flamboyant foram os dias: 21, 23, 26, 27 e 28 de janeiro de 2004. Na avaliação do sombreamento da Sibipiruna e do Flamboyant foram coletados os dados de temperaturas de bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu), temperatura de globo negro (Tg) e medidas de velocidade do vento. Os dados foram obtidos no período das 8:15h às 16:15h com intervalo de 60 minutos entre as medições e foram coletados no interior do módulo localizado à sombra da espécie arbórea analisada e do módulo ao sol.

A umidade relativa do ar (UR) foi calculada pela Equação 4 e o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) foi calculado pela Equação 6. Nas Figuras 28 e 29 são mostradas as espécies arbóreas analisadas e os módulos.



Figura 28. Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*)



Figura 29. Flamboyant (*Delonix regia*)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das avaliações realizadas em campo, chegou-se a algumas características particulares dos indivíduos arbóreos analisados, tanto para a Sibipiruna como para o Flamboyant. Analisando o Quadro 2, com os resultados das medições levando em consideração a altura da árvore e do fuste, diâmetro do tronco e da copa, comprimento e largura das folhas nas duas espécies analisadas e, por se tratar de árvores de grande porte, pode-se afirmar que as mesmas já atingiram a fase adulta e que, para o estudo de sombreamento, é possível a implantação de uma edificação sob a copa das árvores, podendo-se obter resultados favoráveis de atenuação da temperatura por meio das projeções de suas sombras.

A densidade da copa define a taxa de atenuação da radiação solar e pode interferir na passagem do ar pelo interior da copa. Nas duas espécies analisadas as densidades foram classificadas como média, de acordo com Blossfeld, apud Furtado (1994), o que contribuiu para a atenuação da temperatura de globo negro e da temperatura do ar no interior do módulo localizado à sombra em relação as temperaturas do módulo localizado ao sol. No Quadro 2 estão mostradas as caracterizações por meio de medições feitas no local.

Quadro 2 Características das espécies arbóreas analisadas

Características	Espécie Arbórea	
	Flamboyant	Sibipiruna
Altura aproximada da árvore (m)	9	8
Altura do fuste (m)	3,2	3,5
Diâmetro do tronco (cm)	42	40
Cor do Tronco	Acinzentado	Marrom claro
Rugosidade do tronco	Pouco rugoso	Pouco rugoso
Diâmetro da copa (m)	10	9
Densidade da copa	Média	Média
Comprimento da Folha (cm)	0,6	0,9
Largura da folha (cm)	0,4	0,5
Cor da folha	Verde médio	Verde médio

6.1 Avaliação na Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*)

6.1.1 Médias horárias dos dias analisados no sombreamento da Sibipiruna

Nos dias selecionados para análise da pesquisa de sombreamento da sibipiruna, as condições de tempo variaram de céu claro a parcialmente nublado e quanto à velocidade do vento, predominou o vento fraco com média horária de ($\leq 2,6 \text{ ms}^{-1}$).

No Quadro 3, podem-se observar os valores médios horários calculados para os cinco dias selecionados referentes às temperaturas de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts) e temperatura de bulbo úmido (Tu) no interior do módulo localizado à sombra da Sibipiruna e do módulo localizado ao sol. Analisando os resultados das médias horárias no estudo do sombreamento pela Sibipiruna verificou-se que as temperaturas de globo negro e temperatura do ar (também denominada temperatura de bulbo seco) foram mais elevadas no intervalo das 11:15h as 16:15h tanto ao sol quanto à sombra do indivíduo arbóreo. Os valores máximos de temperatura de globo negro no interior dos módulos à sombra e ao sol ocorreram as 14:15h com 32,7°C e 35,8°C respectivamente. As maiores diferenças entre os módulos foram registradas as 12:15h com 3,3°C, às 13:15h e 14:15h com 3,1°C para cada horário. As temperaturas médias do

ar mais elevadas, para os dias analisados, foram as 13:15h e as 14:15h com 31°C e 32°C à sombra e ao sol para cada horário. As maiores diferenças entre os módulos foram registradas as 8:15h, 11:15h e as 12:15h com 1,2°C.

Quadro 3 Valores médios horários das temperaturas de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts) e temperatura de bulbo úmido (Tu) no interior do módulo localizado à sombra da Sibipiruna e do módulo localizado ao sol.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Horário						
08:15	27,2	29,8	25,4	26,6	22,0	23,1
09:15	28,4	31,5	27,0	28,0	22,2	23,5
10:15	30,1	33,0	28,4	29,5	22,6	23,9
11:15	31,4	34,1	30,0	31,2	23,2	24,5
12:15	32,0	35,3	30,4	31,6	23,2	24,6
13:15	32,5	35,6	31,0	32,0	23,3	25,6
14:15	32,7	35,8	31,0	32,0	23,5	24,6
15:15	32,6	35,0	30,9	31,7	23,1	24,1
16:15	32,0	34,2	30,6	31,2	22,7	23,9

Os valores médios horários de velocidade do vento, índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), no interior do módulo localizado à sombra da Sibipiruna e do módulo localizado ao sol estão representados no Quadro 4. Observando-se os valores de ITGU mais elevados no módulo ao sol e no módulo à sombra da árvore, ocorreram as 14:15h com 84,1 e 81,1, respectivamente. Quanto a umidade relativa do ar foram encontrados os valores máximos nos primeiros horários de medição e estes decresceram no decorrer do período. Analisando os resultados obtidos nos Quadros 3 e 4, pode-se comprovar que as médias horárias dos dias analisados estiveram bastante equilibradas ao longo do período e as maiores diferenças nas temperaturas de globo negro e temperatura do ar foram registradas no intervalo das 11:15h às 14:15h, o que tende a justificar o sombreamento pelo indivíduo arbóreo analisado. Por sua característica semi-esférica quanto à forma da copa, a Sibipiruna produziu efeitos de atenuação da temperatura no interior do módulo localizado à sombra em relação ao módulo ao sol, nos horários do dia em que a incidência da radiação solar é maior.

Quadro 4 Valores médios horários do índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) no interior do módulo localizado à sombra da Sibipiruna e do módulo localizado ao sol e valores médios de velocidade do vento.

Horário	ITGU		UR (%)		Vel. do Vento (ms^{-1})
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
08:15	76,0	78,7	73,7	73,8	1,6
09:15	77,1	80,2	65,1	67,6	2,4
10:15	78,5	81,5	59,2	61,5	2,7
11:15	79,9	82,8	54,9	56,7	3,1
12:15	80,3	83,8	53,1	55,5	3,2
13:15	80,8	83,9	50,9	53,2	3,1
14:15	81,1	84,1	52,0	53,6	2,7
15:15	80,7	83,2	50,1	52,0	2,5
16:15	79,9	82,4	48,9	53,0	2,5
Média	79,4	82,3	56,4	58,6	2,6

6.1.2 Médias dos dias analisados no sombreamento da Sibipiruna

Os valores médios diários de temperatura de globo (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), temperatura de bulbo úmido (Tu), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) do módulo localizado à sombra da árvore analisada e do módulo localizado ao sol estão representados no Quadro 5. Os valores médios diários de Tg foram 30,98 °C no módulo localizado à sombra da árvore e de 33,8°C no módulo localizado ao sol. A diferença entre as médias foi de 2,82°C o que equivale a uma variação relativa de 8,3% entre os módulos. O valor médio diário de Ts no módulo localizado à sombra foi de 29,4° C e de 30,4°C no módulo ao sol, o que corresponde a uma diferença entre as médias de 1,0°C com variação relativa de 3,3%. Para os valores de umidade relativa do ar, a diferença entre as médias foi de 2,2°C, sendo a média à sombra de 56,44% e ao sol de 58,58%, o que corresponde a uma variação relativa encontrada entre os módulos de 3,7%. Nos índices de temperatura de globo e umidade a diferença das médias foi de 2,7°C o que representa uma variação relativa de 3,3% entre os módulos localizados à sombra da árvore e ao sol. Pelos resultados obtidos no Quadro 5 pode-se afirmar que as diferenças das médias das variações

relativas, dos dias analisados, sempre ocorreram quando os módulos foram comparados e que houve atenuação da temperatura produzida pela sombra da copa da Sibipiruna.

Quadro 5 Valores médios diários de temperatura de globo (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), temperatura de bulbo úmido (Tu), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) do módulo localizado à sombra da Sibipiruna e do módulo localizado ao sol.

Dias	Tg		Ts		Tu		ITGU		UR	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
13/3/2003	31,7	34,7	29,6	30,4	22,5	24,0	79,6	82,8	53,7	57,6
14/3/2003	31,1	34,5	30,2	30,7	23,8	25,0	80,2	83,5	57,7	62,2
17/3/2003	30,4	32,2	28,7	29,9	22,1	23,2	78,4	80,5	55,8	56,2
19/3/2003	29,9	33,9	28,8	29,8	22,6	24,2	78,4	82,1	58,2	59,1
20/3/2003	31,8	33,7	29,8	31,1	23,3	24,6	80,3	82,5	56,8	57,8
Média	30,98	33,80	29,42	30,38	22,86	24,20	79,38	82,28	56,44	58,58

6.1.3. Análise estatística para a Sibipiruna

Na análise de variância dos dados coletados para avaliação do sombreamento da Sibipiruna, para a variável temperatura de globo negro (Tg), houve efeito significativo para ambiente e horário e não significativo da interação entre ambiente* horário. Para a variável temperatura de bulbo seco ou temperatura ambiente (Ts), houve efeito significativo da interação ambiente*horário, a qual foi desdobrada estudando-se o fator horário dentro de cada ambiente. No Quadro 6 é apresentada a análise de variância dos dados obtidos para a Sibipiruna.

Quadro 6 Resumo da análise de variância dos dados da Sibipiruna, mostrando os testes dos efeitos fixos para as variáveis temperatura de globo negro (Tg) e temperatura de bulbo seco (Ts), com base em modelos mistos.

Efeito	Tg				Ts			
	GL Num	GL Den	Valor F	Pr > F	GL Num	GL Den	Valor F	Pr > F
Ambiente	1	4	45,54	0,0025	1	4	48,13	0,0023
Horário	8	32	11,23	< .0001	8	32	22,7	< .0001
Amb*Hor	8	32	1,67	0,1456	8	32	2,32	0,0434

Observando-se o Quadro 7 de análise de variância dos dados coletados para avaliação do sombreamento da Sibipiruna para a variável índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), houve efeito significativo para ambiente e horário e não significativo para a interação entre ambiente*horário. Para a variável umidade relativa do ar (UR), houve efeito não significativo para ambiente e para a interação ambiente*horário e efeito significativo para horário.

Quadro 7 Resumo da análise de variância dos dados da Sibipiruna, mostrando os testes dos efeitos fixos para as variáveis, índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), com base nos modelos mistos.

Efeito	ITGU				U.R.			
	GL Num	GL Den	Valor F	Pr > F	GL Num	GL Den	Valor F	Pr > F
Ambiente	1	4	94,43	0,0006	1	4	6,27	0,0665
Horário	8	32	10,2	< .0001	8	32	21,2	< .0001
Amb*Hor	8	32	1,46	0,2116	8	32	1,28	0,2896

No Quadro 8 podem ser observadas as correlações para as variáveis temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR). Houve correlação positiva e significativa ($p < 0,01$) da variável Tg com Ts e Tg com ITGU. Houve correlação negativa e significativa ($p < 0,01$) da variável UR com as variáveis Tg, Ts e ITGU.

Quadro 8 Correlações (r = de Pearson) para as variáveis, temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), para a Sibipiruna.

	Tg	Ts	ITGU	UR
Tg	1,00000	0,88716**	0,97815**	-0,60274**
Ts	0,88716**	1,00000	0,87328**	-0,81413**
ITGU	0,97815**	0,87328**	1,00000	-0,49086**
UR	-0,60274**	-0,81413**	-0,49086**	1,00000

No Quadro 9 podem ser observadas as equações de regressão ajustadas para as variáveis estudadas.

Com base no Quadro 9 pode-se afirmar que houve um comportamento quadrático do horário para as variáveis Tg, Ts à sombra Ts ao sol e ITGU, com pontos de máximos as 14:15h. Houve um comportamento quadrático do horário para a variável UR, com ponto de mínimo as 16:15h.

Quadro 9 Equações de regressão ajustadas para as variáveis de temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) em função do horário de coleta, para a Sibipiruna.

Variáveis**	Equações de regressão	(R ²)
Tg	$T\hat{g} = 0,729927 + 4,86071 \text{ Hor} - 0,176981 \text{ Hor}^2$	0,4689**
Ts (sombra)	$T\hat{s} = 0,328674 + 4,36999 \text{ Hor} - 0,155027 \text{ Hor}^2$	0,7763**
Ts (sol)	$T\hat{s} = 0,571222 + 4,76891 \text{ Hor} - 0,174204 \text{ Hor}^2$	0,7933**
ITGU	$IT\hat{G}U = 50,8829 + 4,65883 \text{ Hor} - 0,172264 \text{ Hor}^2$	0,4040**
UR	$\hat{U}R = 161,317 - 15,2911 \text{ Hor} + 0,528804 \text{ Hor}^2$	0,7642**

** significativo (p < 0,01) pelo teste F.

Hor = Horário de coleta

R²= Coeficiente de determinação

Observando-se o Quadro 10 pode-se confirmar os horários dos pontos de máximos e de mínimo para as variáveis estudadas.

Quadro 10 Valores médios das variáveis temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), para a Sibipiruna.

	Tg	Ts*		ITGU	UR
		sombra	sol		
Horário					
08:15	28,48	25,42	26,60	77,38	73,76
09:15	29,95	26,98	28,00	78,63	66,35
10:15	31,55	28,42	29,48	80,03	60,37
11:15	32,71	29,96	31,18	81,32	55,82
12:15	33,65	30,36	31,56	82,05	54,30
13:15	34,05	30,96	31,96	82,34	52,04
14:15	34,23	31,02	32,00	82,58	52,82
15:15	33,82	30,94	31,74	81,96	51,06
16:15	33,10	30,64	31,16	81,21	50,95

*Ts, desdobrada em sombra e sol devido à ocorrência de interação.

6.2 Avaliação no Flamboyant (*Delonix regia*)

6.2.1 Média horária dos dias analisados no sombreamento do Flamboyant

Nos dias selecionados para análise da pesquisa no sombreamento do Flamboyant as condições de tempo variaram de céu claro a parcialmente nublado e predominou o vento moderado ($\leq 5,2 \text{ ms}^{-1}$) durante os períodos de medição.

Os valores médios horários calculados para os cinco dias selecionados na pesquisa, referente às temperaturas de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts) e temperatura de bulbo úmido (Tu) no interior do módulo localizado à sombra da árvore e do módulo ao sol são mostrados no Quadro 11. Análisisando os resultados das médias horárias no estudo do sombreamento pelo Flamboyant, observou-se que os valores mais elevados, de Tg nos módulos localizados à sombra e ao sol foram registrados às 15:15h com 35,7°C e 39,0°C, respectivamente, e valores próximos em horários compreendidos entre as 12:15h e 15:15h. Os maiores valores de Ts foram verificados entre as 12:15h e 16:15h, com o máximo de 33,7°C à sombra e de 34,6°C ao sol e com maiores diferenças às 11:15h com 1,8°C e às 12:15h com 1,5°C.

Quadro 11 Valores médios horários das temperaturas de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts) e temperatura de bulbo úmido (Tu) no interior do módulo localizado à sombra do Flamboyant e do módulo localizado ao sol.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Horário						
08:15	27,0	29,4	25,2	26,0	22,5	23,5
09:15	29,4	32,2	27,4	28,6	23,3	24,3
10:15	31,3	34,7	28,9	30,3	23,6	24,7
11:15	32,7	36,6	30,7	32,5	23,8	25,1
12:15	33,6	37,6	31,3	32,8	23,9	25,2
13:15	34,4	38,2	32,2	33,5	24,2	25,0
14:15	34,3	37,7	32,3	33,4	23,7	24,7
15:15	35,7	39,0	33,3	34,6	23,9	24,7
16:15	34,1	38,3	33,7	34,4	24,1	25,1

Os valores médios horários de velocidade do vento e de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) no interior do módulo localizado à sombra do Flamboyant e do módulo localizado ao sol podem ser observados no Quadro 12. Para os índices de temperatura de globo e umidade, foram verificados valores mais elevados às 15:15h com 83,5° no módulo à sombra da árvore e de 86,5 no módulo ao sol e com as maiores diferenças registradas nos horários das 11:15h, 12:15h e 16:15h (3,8 para os dois primeiros e de 3,7 para o último). Para umidade relativa do ar a diferença mais acentuada foi registrada às 16:15h com 2,2%. Observando-se a umidade relativa do ar, os valores máximos encontrados foram verificados sempre nas primeiras medições, com decréscimo no decorrer do período. A umidade relativa foi maior no horário das 8:15h com valores de 78,9 % no módulo à sombra da árvore e de 80,5% no módulo ao sol.

Quadro 12 Valores médios horários de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR), no interior do módulo localizado à sombra do Flamboyant e do módulo localizado ao sol e valores de velocidade do vento.

Horário	ITGU		UR(%)		Vel. do Vento (ms ⁻¹)
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
08:15	76,3	78,7	78,9	80,5	2,8
09:15	78,5	81,3	70,1	69,6	4,2
10:15	80,1	83,4	63,2	62,4	4,7
11:15	81,2	85,0	55,2	54,1	5,4
12:15	82,0	85,8	52,9	53,2	5,7
13:15	82,8	86,1	50,5	49,1	5,5
14:15	82,4	85,5	47,4	47,8	5,4
15:15	83,5	86,5	44,4	43,3	6,1
16:15	82,5	86,2	43,6	45,8	6,7
Média	81,0	84,3	56,2	56,2	5,2

6.2.2 Média dos dias analisados no sombreamento do Flamboyant

Os valores médios diários da temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), temperatura de bulbo úmido (Tu), índice de temperatura de

globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) do módulo localizado à sombra do Flamboyant e do módulo localizado ao sol estão representados no Quadro 13. As diferenças das médias diárias nas temperaturas de globo negro foram mais acentuadas nos dias 27, 23 e 26 de janeiro de 2004 com valores de 4,7°C, 4,3°C e 3,5°C respectivamente, com média dos dias de 32,5°C no módulo à sombra da árvore e de 35,96°C no módulo ao sol. A diferença entre as médias, 3,46°C, equivale a uma porcentagem de variação de 9,6% na comparação entre os módulos.

Os valores médios de Ts mais acentuados ocorreram nos dias 27, 28 e 26 de janeiro com diferenças de 1,5°C, 1,4°C e de 1,0°C, respectivamente. A média dos dias analisados para o Flamboyant foi de 30,5°C no módulo à sombra da árvore e de 31,8°C no módulo ao sol e a diferença das médias foi de 1,3°C com variação de 4% na comparação entre os módulos. O valor de UR mais acentuado foi registrado em 23 de janeiro com 3,3% entre os módulos. Para os índices de temperatura de globo e umidade foram registrados os valores médios diários mais acentuados em 23 e 27 de janeiro com índice de variação de 4,1 e de 3,7. A variação foi de 3,8%, quando foram comparados os ITGU encontrados nos módulos à sombra da árvore e ao sol.

Quadro 13 Valores médios diários de temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), temperatura de bulbo úmido (Tu), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR) do módulo localizado à sombra do Flamboyant e do módulo localizado ao sol.

Dias	Tg		Ts		Tu		ITGU		UR	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
21/1/2004	30,7	34,2	29,2	30,6	23,9	25,0	79,9	83,2	63,9	63,4
23/1/2004	31,6	35,9	30,4	31,4	23,5	24,9	80,3	84,4	55,7	59,0
26/1/2004	32,2	35,7	30,1	31,1	23,1	24,0	80,4	83,6	55,3	55,8
27/1/2004	32,9	37,6	30,8	32,3	23,9	24,4	81,5	85,2	55,9	52,0
28/1/2004	35,1	36,4	32,2	33,6	24,0	25,2	83,1	85,0	50,4	50,9
Média	32,50	35,96	30,54	31,80	23,68	24,70	81,04	84,28	56,24	56,22

6.2.3 Análise estatística para o Flamboyant

Na análise de variância dos dados coletados para avaliação do sombreamento do Flamboyant, para a variável Tg, pode-se afirmar que houve efeito significativo dos fatores ambiente e horário e não significativo da interação de ambiente*horário. Para a variável temperatura de bulbo seco ou temperatura ambiente (Ts), houve efeito significativo dos fatores ambiente e horário e efeito não significativo da interação ambiente*horário. No Quadro 14 é apresentada a análise de variância dos dados obtidos para o Flamboyant.

Quadro 14 Resumo da análise de variância dos dados do Flamboyant, mostrando os testes dos efeitos fixos para as variáveis temperatura de globo negro (Tg) e temperatura de bulbo seco (Ts), com base em modelos mistos.

Efeito	Tg				Ts			
	GL Num	GL Den	Valor F	Pr > F	GL Num	GL Den	Valor F	Pr > F
Ambiente	1	4	35,8	0,0039	1	4	136,96	0,0003
Horário	8	32	32,15	< .0001	8	32	71,31	< .0001
Amb*Hor	8	32	1,3	0,2775	8	32	1,28	0,2867

Observando-se o Quadro 15 de análise de variância dos dados coletados para avaliação do sombreamento do Flamboyant houve efeito significativo para ambiente e horário e não significativo da interação ambiente*horário para a variável ITGU. Houve efeito significativo para horário e não significativo para ambiente e para a interação ambiente*horário, para a variável UR.

Quadro 15 Resumo da análise de variância dos dados do Flamboyant, mostrando os testes dos efeitos fixos para as variáveis, índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), com base em modelos mistos.

Efeito	ITGU				UR			
	GL Num	GL Den	Valor F	Pr > F	GL Num	GL Den	Valor F	Pr > F
Ambiente	1	4	71,64	0,0011	1	4	0	0,977
Horário	8	32	23,4	< .0001	8	32	50,9	< .0001
Amb*Hor	8	32	1,38	0,2406	8	32	0,92	0,5144

No Quadro 16 podem ser observadas as correlações para temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR). Houve correlação positiva e significativa ($p < 0,01$) da variável Tg com Ts e Tg como ITGU. Houve correlação negativa e significativa ($p < 0,01$) da variável UR com as variáveis Tg, Ts e ITGU.

Quadro 16 Correlações (r = de Pearson) para as variáveis temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) para o Flamboyant.

	Tg	Ts	ITGU	UR
Tg	1,00000	0,89566**	0,98677**	-0,78259**
Ts	0,89566**	1,00000	0,88126**	-0,93984**
ITGU	0,98677**	0,88126**	1,00000	-0,72100**
UR	-0,78259**	-0,93984**	-0,72100**	1,00000

Com base no quadro 17 pode se afirmar que houve comportamento quadrático do horário para as variáveis Tg, Ts e ITGU, com pontos de máximo as 15:15h para Tg, as 16:15h para Ts, e as 15:15h para ITGU. Houve um comportamento quadrático do horário para a variável UR, com ponto de mínimo as 15:15h. Observando-se o quadro 18 pode-se confirmar os horários de pontos de máximos e de mínimo para as variáveis estudadas.

Quadro 17 Equações de regressão ajustadas para as variáveis temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), em função do horário de coleta para o Flamboyant

Variáveis **	Equações de regressão	(R ²)
Tg	$T\hat{g} = 5,85131 + 5,92080 \text{ Hor} - 0,205519 \text{ Hor}^2$	0,5628**
Ts	$T\hat{s} = -0,684877 + 4,47401 \text{ Hor} - 0,144958 \text{ Hor}^2$	0,7779**
ITGU	$ITGU = 48,3095 + 5,11587 \text{ Hor} - 0,179439 \text{ Hor}^2$	0,5284**
UR	$UR = 189,936 - 18,7317 \text{ Hor} + 0,604454 \text{ Hor}^2$	0,7964**

** significativo ($p < 0,01$) pelo teste F

Hor = horário de coleta.

R² = coeficiente de determinação.

Quadro 18 Valores médios das variáveis, temperatura de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts), índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e umidade relativa do ar (UR), para o Flamboyant.

Descrição	Tg	Ts	ITGU	UR
Horário				
08:15	28,20	25,56	77,50	79,71
09:15	30,80	27,96	79,89	69,87
10:15	33,00	29,60	81,75	62,80
11:15	34,65	31,60	83,13	54,68
12:15	35,60	32,05	83,91	53,06
13:15	36,30	32,85	84,45	49,82
14:15	36,00	32,85	83,96	47,57
15:15	37,35	33,95	85,00	43,84
16:15	36,20	34,05	84,38	44,69

Pelos valores das temperaturas representados nos Quadros 3 e 4 para a Sibipiruna e nos Quadros 11 e 12 para o Flamboyant, pode-se observar que quanto maiores as temperaturas de globo, maior a variação das temperaturas do ar, ou seja, menores as temperaturas sob a copa das árvores analisadas.

Observa-se, pelos resultados da pesquisa, que os valores das temperaturas do ar no interior do módulo localizado ao sol são sempre superiores àqueles obtidos no interior do módulo sombreado. As temperaturas de globo no interior do módulo localizado ao sol são sempre mais elevadas do que no módulo à sombra da árvore analisada. Resultados semelhantes foram obtidos por Bueno et. al. (1997) em estudos para qualificar a melhoria das condições climáticas no ambiente externo pela vegetação em campo aberto e por Menezes (1996) em estudos sobre a influência da arborização no desempenho térmico de aviários, através dos índices de conforto térmico e produção de ovos.

Pelos resultados obtidos ressalta-se a tendência de comportamento das temperaturas de globo e temperatura do ar ao longo do dia, onde os menores valores foram justificados sempre no início da manhã com elevação no decorrer do período e decréscimo no final da tarde. Os valores máximos das temperaturas estiveram compreendidos entre os horários das 11:15h e 14:15 horas, período de maior incidência da radiação solar.

Pelos resultados pode-se afirmar que o sombreamento por árvores de copa semi-esférica é capaz de obstruir, com maior eficiência, parte da radiação incidente nos horários mais quentes do dia. Nestes horários a ação da radiação solar é mais intensa, pois a inclinação dos raios solares é menor quando foram comparadas as temperaturas obtidas no interior dos módulos à sombra e ao sol. Estes resultados também foram comprovados por Sattler et al. (1987), em estudos sobre a geometria das sombras proporcionada por várias formas diferentes de copas de árvores, onde foram citados os efeitos produzidos por cada espécie usando-se um programa de computador que avaliou as sombras em relação às edificações.

Pelos dados de umidade relativa do ar representados nos Quadros 4 e 12 foram observadas variações à sombra do Flamboyant, ora com valores maiores ao sol, ora com valores maiores à sombra da árvore. Na análise dos dados de umidade relativa do ar para a Sibipiruna, os valores mantiveram-se sempre maiores no módulo ao sol que à sombra da árvore. Essas variações também foram encontradas em estudo realizado por Bueno (1998), sobre atenuação da radiação solar incidente por diferentes indivíduos arbóreos, levando-se em consideração as características de cada espécie.

A coleta de dados sobre a velocidade do vento é de fundamental importância na avaliação de conforto térmico, pois pode produzir alterações no conforto humano conforme os deslocamentos das massas de ar. Pode-se observar que ao longo do período das medições realizadas, para cada uma das árvores analisadas, as características do vento mantiveram-se equilibradas, com velocidade constante, não produzindo alterações que pudessem interferir nos resultados obtidos.

A densidade foliar da copa das árvores altera o microclima local. O processo de resfriamento pelas sombras das árvores é sempre mais acentuado onde a copa permite com mais facilidade a passagem do ar por suas folhas. Árvores de copa mais densa obstruem a radiação solar incidente em porcentagens mais elevadas do que as de copa menos densa, porém podem impedir a dissipação de uma quantidade maior do ar quente presente no seu interior. . Por serem consideradas árvores de densidade foliar média a Sibipiruna e o Flamboyant possibilitaram a dissipação do ar quente pelo interior de suas copas proporcionando atenuação da temperatura pela renovação do ar. Afirmações semelhantes

foram comprovadas por Ghelfi Filho et. al. (1996), em trabalhos realizados para determinar o tipo de sombreamento adequado à pastagem onde avaliaram o efeito de duas espécies arbóreas e por Silva et al. (1996), no estudo sobre redução da carga térmica radiante pelo sombreamento arbóreo de três espécies. Em ambos os estudos, a Sibipiruna foi uma das espécies analisadas e que produziu melhor efeito de atenuação.

Por tratar-se de região de clima quente, o sombreamento arbóreo nas duas espécies analisadas produziram alteração favorável ao microclima local e desse modo, pode-se afirmar que a atenuação da temperatura por meio da arborização assume papel de relevância quanto à obstrução da radiação solar direta. Afirmação justificada em trabalhos realizados por Heisler (1982), que comprovou que as espécies analisadas, mesmo quando estavam sem folhas produziram variações na transmissão da radiação e por Bueno (1998), que comprovou pela análise de cinco espécies arbóreas quanto a atenuação da radiação solar incidente, que todas as espécies analisadas na pesquisa produziram resultados favoráveis de atenuação com melhoria no conforto térmico proporcionado por suas sombras.

Os Quadros com os valores coletados referentes aos dias 13, 14, 17, 19 e 20 de março de 2003, para análise do sombreamento da Sibipiruna estão no Apêndice A. Os Quadros com os valores coletados referentes aos dias 21, 23, 26, 27 e 28 de janeiro de 2004, para avaliação do sombreamento do Flamboyant estão no Apêndice B.

7 CONCLUSÕES

Com bases nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- o sombreamento das árvores analisadas, Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) e Flamboyant (*Delonix regia*) produziram alterações favoráveis ao microclima;
- Houve atenuação nas variações relativas de temperatura de globo nas duas espécies arbóreas analisadas quando comparadas as temperaturas no interior dos módulos ao sol e à sombra de cada árvore;
- Nas variações relativas de temperatura do ar tanto na Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) como no Flamboyant (*Delonix regia*) houve atenuação da temperatura quando foram comparados os valores obtidos nos módulos ao sol e à sombra de cada uma das espécies analisadas;

- Os valores de atenuação das temperaturas foram maiores no intervalo compreendido entre 11,15h e 15,15h, período do dia em que a incidência da radiação solar na Terra é maior.

8 SUGESTÕES

Sugere-se que as pesquisas posteriores relativas ao sombreamento arbóreo tenham seus resultados divulgados junto à Administração Pública do Município de Dourados, por meio de projetos de extensão. Elas podem influenciar no planejamento e implementação de áreas verdes na área urbana do município, possibilitando a criação de mecanismos naturais de intervenção na composição do microclima local, contribuindo para a melhoria do conforto ambiental.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARI, H.; TAHA, H. Impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. **Energy**, Oxford, v.17, n. 2, p. 141-149, Feb. 1992.

AWBI, H. B. **Ventilation of buildings**. London: E & FN Spon, 1991. 313 p.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel, 1986. 332 p.

BAJWA, M. M. Role of integrated landscape desing in energy conservation in detached dwelings in the Arabian Gulf region. **Renewable Energy**, v.6, n.2, p. 139-150, Mar.1995.

BARDOU, P.; ARZOUMANIAN, V. **Sol y arquitetura**. 2.ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1981.

BARDOU, P.; ARZOUMANIAN, V. **Tecnologia y arquitetura: sol y arquitetura**. 3.ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1984.

BERNATZKY, A. The contribution of trees and green spaces to a town climate. **Energy and building**, New York, v. 5, p. 1-10, 1982.

BUENO, C. L. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**. 1998. 177 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

BUENO, C. L.; LABAKI, L. C.; SANTOS, R. F. Caracterização das espécies arbóreas e sua contribuição para o conforto térmico urbano do sub-distrito de Barão Geraldo, Campinas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, Laboratório de Análise e Controle Ambiental, ANTAC, 1997. p. 93 – 96.

BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe humidity index (BGHI) as confort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.3, p. 711 – 714, 1981.

CARVALHO, M. L. A. M. Impacto do ambiente construído sobre o clima. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1993, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ABERGO, SOBRAC, 1993. p. 233-238.

CASTRO, L. L. F. L. **Estudo de parâmetros de conforto térmico em áreas verdes inseridas no ambiente urbano, Campinas**. 1999. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil/ Saneamento e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

COLE, R. J. The longwave radioactive environment around buildings. **Buildings environment**, n. 11, p. 3-13, 1976.

CUNHA, C. **Projeto Plantar**. Disponível:< [http:// www.Ciaeco.com.br/telas/matéria.asp?Id_Destaque](http://www.Ciaeco.com.br/telas/matéria.asp?Id_Destaque) 11 (2002). Acesso em: 10 de dezembro de 2002.

DIAS, G. F. **Pegada ecológica e sustentabilidade humana**. São Paulo: Gaia, 2002. 257 p.

DUFFIE, J.; BECKMAN, W. **Solar engineering of thermal processes**. Wiley, New York: Wiley, 1980.

EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Boletim Agrometeorológico 1999** / Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados, 2000. 30p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim Agrometeorológico, 2)

FANGER, O. **Thermal confort, analysis and application in environmental engineering**. Copenhagen: 1970. 244p.

FARIA, I. C. **Guia para la elaboracion de estudios del medio físico: contenido y metodologia**. Sevilha: Ministério de Obras Públicas y Urbanismo. Sevilha, Espanha, 1984.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244 p.

FURTADO, A. E. **Simulação e análise da utilização da vegetação como anteparo às radiações solares em uma edificação**. 1994. 144 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1994.

GHELFI FILHO, H. et al. Sombreamento natural: avaliação de algumas espécies arbóreas através de índices de conforto térmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25., 1996, Bauru. **Anais...** Bauru: Sociedade Brasileira Engenharia Agrícola, 1996. n. 395 - 396.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. 2.ed. London: Applied Science, 1981. 483p., H. et al.

HAYMAN, S. Limits of accuracy of graphical solar access and shadow studies. **Architectural Science Review**, v. 32, n.1, p. 15-20, Mar. 1989.

HEISLER, G. M.; HALVERSON, H. G.; ZISA, R. P. **Solar radiation measurements beneath crowns of open-grown trees**. 1980. p. 162-165.

HEISLER, G. M. **Redutions of solar radiation by tree crows.**, p.133 – 138, 1982.

HEISLER, G. M. Effects of individual trees on the solar radiation climate of small buildings. **Urban Ecology**, n.9, p. 337-359, 1986.

IZARD, J. L.; GUYOT, A. **Arquitetura bioclimatica**. Barcelona: Gustavo Gili, 1983. 191 p.

KOENIGSBERGER, O. H. et al. **Manual of tropical housing and building, climatic design, parte one**. New York: Longman, 1980. 320 p.

LITTELL, R.C.; HENRY, P.R.; AMMERMAN, C.B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **J. Anim. Sci.**, 76: 1216 – 1231, 1998.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**. O exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985. 244 p.

LOMBARDO, M. A. A ilha de calor de São Paulo. **Ambiente**, São Paulo, v. 2, n.1, p. 14 – 18, 1988.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, Plantarum, 1992. 352 p.

MACINTYRE, D. A. **Indoor climate**. London: Applied Science Publishers, 1980. 443 p.

MASCARÓ, L. R. **Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo**. 2ª ed. São Paulo: Editora Projeto, 1991.

MASCARÓ, L. R. **Luz clima e arquitetura**. 3ª edição, São Paulo, editora Nobel, 1983.

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

MCPHERSON, E. G.; ROWNTREE, R. Tree Shade. **Landscape Architecture**, n.76, p.88 - 91, 1986.

MENEZES, C. L. **Desenvolvimento urbano e meio ambiente**. A experiência de Curitiba. Curitiba: Papírus, 1996.

MILANO, M. S. Planejamento e replanejamento de arborização de ruas. In; ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2., 1987, Maringá. **Anais...** Maringá, 1987. p.1-8.

MILLER, R. W. **Urban forestry: planning and managing urban Greenspace**. New Jersey: Prentice Hall, 1988.

MONTEIRO, C.A. F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Revista GEOSUL**, Florianópolis, n.9, p.61-80, 1990.

MONTEIRO, C.A. F. A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um “clima urbano”. **Revista GEOSUL**, Florianópolis, n.9, p.80-115, 1991.

MORGAN, W. E. **Heat reflective roof coatings**. St. Joseph: ASAE, 1990. p. 9. (ASAE paper, 904513).

OLGYAY, V. **Design with climate**. New Jersey: Princeton University, 1963.

OLGYAY, V. **Design with climate – Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. New Jersey: Princeton University Press, 1973.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.; **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PLAZOLA, A. C.; PLAZOLA A. A. **Arquitectura habitacional**. 2.ed. México: Limusa, 1978. 560 p.

PRATA, A. R. **Uma ferramenta computacional de avaliação da ventilação natural em projetos arquitetônicos**. 1998. 154 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento/ Saneamento) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análise estatística no SAEG**. Viçosa: UFV, 2001. 301p.

RIBEIRO, L. **Conforto**. Disponível em: < [http:// Cabano.com.Br/Conforto.html](http://Cabano.com.Br/Conforto.html) > Acesso em: 12 dez. 2002.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima**. Acondicionamento térmico natural. 2.ed. Porto Alegre: D.C. Luzzatto, 1986. 240 p.

ROBINETTE, G. **Landscape planning for energy conservation**. Reston, VA: Environmental Design Press, 1977.

ROMERO, M.A.. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Projeto, 1988.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. 1999. 78 p. (Texto apresentado para qualificação de mestrado)

SATTLER, M. A. **Computer-based design techniques for the thermal analysis of low cost housing in Brazil, incorporating the use of shading by trees**. 1987. Thesis (Doctor of Philosophy) Faculty Studies, University of Sheffield, 1987.

SATTLER, M. A. **Arborização urbana e conforto ambiental**. In: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO DAS CIDADES, 1., 1992, Vitória. **Anais...** Vitória: 1992. p. 15 – 28.

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.

SCHANZER, D. W.; MASCARÓ, L. O uso de fontes passivas de energia para a climatização de espaços urbanos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DE AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1993, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ABERGO, SOBRAC, 1993. p.99–105.

SILVA, I. J. O. et al. Redução da carga térmica de radiação através do sombreamento natural. In: CONGRESSO ARGENTINO DE ENGENHARIA RURAL, 4., CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA RURAL, 2., 1996, Neuquen. **Memórias...** Neuquen: Universidad Nacional Del Comahue, Universidad Nacional de La Plata, INTA Centro Regional Patagônia Norte, 1996. p. 799-807.

TOLEDO, E. **“Notas de Aula”**. Brasília, Departamento de Arquitetura. Universidade de Brasília, 1973.

TUBELIS, A. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1984. 374 p.

10 APÊNDICE

APÊNDICE A

Quadro A1 Valores de temperaturas de globo negro (Tg), temperatura de bulbo seco (Ts) e de bulbo úmido (Tu) nos módulos localizado à sombra e ao sol na análise da sibipiruna, referente ao dia 13 de março de 2003.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Horário						
08:15	28,0	31,0	25,5	27,0	22,0	23,4
09:15	29,0	32,0	27,0	28,0	22,2	23,6
10:15	30,0	33,0	27,5	29,2	22,4	24,0
11:15	31,0	33,0	29,0	29,8	22,5	24,0
12:15	32,0	35,5	30,2	31,5	22,6	24,2
13:15	33,5	36,0	31,2	32,0	22,8	24,4
14:15	33,8	37,0	31,2	32,0	22,8	24,0
15:15	34,2	37,0	32,4	32,5	23,0	24,0
16:15	34,0	38,0	32,0	32,0	22,0	24,0
Média	31,7	34,7	29,6	30,4	22,5	24,0

Quadro A2 Valores calculados de Índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento, na análise da sibipiruna, referente ao dia 13 de março de 2003.

	ITGU		U R (%)		Vel. do Vento (ms ⁻¹)
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
Horário					
08:15	76,6	79,8	72,8	73,0	1,4
09:15	77,5	80,6	64,8	68,2	1,1
10:15	78,3	81,6	63,2	63,9	0,8
11:15	79,1	81,6	55,7	60,6	2,0
12:15	79,9	83,6	50,4	53,3	2,6
13:15	81,1	84,1	47,0	52,1	2,1
14:15	81,4	84,5	47,0	49,9	1,9
15:15	81,8	84,5	43,0	47,8	1,0
16:15	80,9	85,2	39,6	49,9	1,9
Média	79,6	82,8	53,7	57,6	1,6

Quadro A3 Condição do tempo e classificação do vento nos horários de coleta dos dados para o dia 13 de março de 2003.

Horário	DIA: 13/03/2003	
08:15	Céu claro	Vento fraco
09:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
10:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
11:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
12:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
13:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
14:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
15:15	Céu claro	Vento fraco
16:15	Céu claro	Vento fraco

Quadro A4 Valores de temperaturas de globo negro (Tg), bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu) nos módulos localizado à sombra e ao sol, na análise da sibipiruna, referente ao dia 14 de março de 2003.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
Horário	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
08:15	28,0	31,0	26,6	27,0	23,2	23,8
09:15	29,0	33,0	28,3	28,6	23,5	24,5
10:15	31,0	35,0	29,8	30,2	24,0	25,1
11:15	32,0	35,8	31,0	31,4	24,5	25,8
12:15	32,0	35,0	31,0	32,0	24,2	26,8
13:15	33,0	37,0	32,3	32,8	24,2	25,0
14:15	34,0	37,0	32,7	33,0	24,0	25,0
15:15	31,0	34,0	30,5	31,2	23,7	25,0
16:15	30,0	33,0	30,0	30,5	23,0	24,0
Média	31,1	34,5	30,2	30,7	23,8	25,0

Quadro A5 Valores calculados de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento, na análise da sibipiruna, referente ao dia 14 de março de 2003

Horário	ITGU		U R (%)		Vel. do Vento (ms ⁻¹)
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
08:15	77,5	80,1	74,2	75,9	0,4
09:15	78,4	82,0	65,8	70,6	2,1
10:15	80,2	83,9	60,6	65,2	2,7
11:15	81,3	85,0	57,4	63,0	3,5
12:15	81,1	85,1	55,7	65,8	3,1
13:15	81,8	85,2	49,7	51,7	3,3
14:15	82,4	85,2	46,9	50,9	3,0
15:15	80,0	83,1	55,3	59,3	4,0
16:15	78,8	81,6	53,6	57,0	2,8
Média	80,2	83,5	57,7	62,2	2,8

Quadro A6 Condição do tempo e classificação do vento nos horários de coleta para o dia 14 de março de 2003.

Horário	Dia: 14/3/2003	
08:15	Céu claro	Vento fraco
09:15	Céu claro	Vento fraco
10:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
11:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
12:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
13:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
14:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
15:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
16:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco

Quadro A7 Valores de temperaturas de globo negro (Tg), bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu) nos módulos localizado à sombra e ao sol, na análise da sibipiruna, referente ao dia 17 de março de 2003.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
Horário	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
08:15	24,0	25,0	23,0	24,5	20,0	21,0
09:15	26,0	27,5	24,8	25,9	20,2	21,5
10:15	28,5	30,0	27,0	28,0	21,2	22,5
11:15	31,0	32,5	29,2	31,0	22,4	23,5
12:15	32,0	35,0	30,3	31,5	23,0	24,2
13:15	33,0	36,0	30,8	32,0	23,5	24,8
14:15	33,0	35,0	31,0	32,5	23,0	24,0
15:15	34,0	36,0	31,8	33,0	23,0	24,2
16:15	32,0	33,0	30,0	31,0	22,5	23,5
Média	30,4	32,2	28,7	29,9	22,1	23,2

Quadro A8 Valores calculados de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), 17 de março de 2003. umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento, na análise da sibipiruna, referente ao dia.

	ITGU		U R (%)		Vel. do Vento (ms ⁻¹)
Horário	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
08:15	72,3	73,7	75,1	72,2	2,9
09:15	73,9	75,9	64,4	66,7	3,4
10:15	76,4	78,4	58,2	61,0	3,5
11:15	79,0	80,9	54,1	51,7	3,1
12:15	80,2	83,2	52,2	53,3	3,2
13:15	81,3	84,4	52,7	54,3	2,8
14:15	80,9	83,1	49,0	47,8	2,8
15:15	81,6	83,9	45,5	46,7	2,5
16:15	79,8	81,3	50,8	51,7	2,1
Média	78,4	80,5	55,8	56,2	2,9

Quadro A9 Condição do tempo e classificação do vento nos horários de coleta para o dia 17 de março de 2003.

Horário	Dia: 17/3/2003	
08:15	Céu claro	Vento fraco
09:15	Céu claro	Vento fraco
10:15	Céu claro	Vento fraco
11:15	Céu claro	Vento fraco
12:15	Céu claro	Vento fraco
13:15	Céu claro	Vento fraco
14:15	Céu claro	Vento fraco
15:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
16:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco

Quadro A10 Valores de temperaturas de globo negro (Tg), bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu) nos módulos localizado à sombra e ao sol, na análise da sibipiruna, referente ao dia 19 de março de 2003.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
Horário	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
08:15	26,8	31,0	25,0	26,0	22,0	23,0
09:15	28,0	32,0	26,3	27,5	22,2	23,4
10:15	29,0	33,0	28,0	29,0	22,0	23,2
11:15	30,0	34,0	29,8	31,2	23,0	24,3
12:15	31,0	36,0	30,0	31,0	23,2	24,0
13:15	31,0	35,0	29,5	30,5	23,0	23,8
14:15	31,5	36,0	30,2	31,5	23,0	24,2
15:15	31,0	34,0	30,0	30,8	22,8	23,5
16:15	31,0	34,0	30,2	31,0	22,5	23,8
Média	29,9	33,9	28,8	29,8	22,6	24,2

Quadro 11 Valores calculados de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento, na análise da sibipiruna, referente ao dia 19 de março de 2003.

Horário	ITGU		U R (%)		Vel. do Vento (ms ⁻¹)
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
08:15	75,7	79,5	76,2	76,8	1,7
09:15	76,7	80,5	69,1	69,9	2,7
10:15	77,3	81,1	57,8	60,0	2,9
11:15	78,8	82,6	54,6	55,3	3,3
12:15	79,6	83,8	54,8	54,5	3,5
13:15	79,5	82,9	56,1	55,8	3,6
14:15	79,8	83,9	52,7	53,3	3,0
15:15	79,3	82,0	52,5	52,7	2,6
16:15	79,1	82,2	49,8	53,4	2,2
Média	78,4	82,1	58,2	59,1	2,8

Quadro 12 Condição do tempo e classificação do vento nos horários de coleta para o dia 19 de março de 2003.

Horário	Dia: 19/3/2003	
08:15	Céu claro	Vento fraco
09:15	Céu claro	Vento fraco
10:15	Céu claro	Vento fraco
11:15	Céu claro	Vento fraco
12:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
13:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
14:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
15:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
16:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco

Quadro 13 Valores de temperaturas de globo negro (Tg), bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu) nos módulos localizado à sombra e ao sol, na análise da sibipiruna, referente ao dia 20 de março de 2003.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Horário						
08:15	29,0	31,0	27,0	28,5	23,0	24,5
09:15	30,0	33,0	28,5	30,0	23,0	24,5
10:15	32,0	34,0	29,8	31,0	23,3	24,5
11:15	32,8	35,0	30,8	32,5	23,5	25,0
12:15	33,0	35,0	30,3	31,8	23,0	24,0
13:15	32,0	34,0	31,0	32,5	23,0	24,8
14:15	31,0	34,0	30,0	31,0	24,8	26,0
15:15	33,0	34,0	30,0	31,2	23,1	24,0
16:15	33,0	33,0	31,0	31,3	23,3	24,0
Média	31,8	33,7	29,8	31,1	23,3	24,6

Quadro 14 Valores calculados de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento, na análise da sibipiruna, referente ao dia 20 de março de 2003.

	ITGU		U R (%)		Vel. do Vento (ms ⁻¹)
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
Horário					
08:15	78,0	80,6	70,2	71,2	1,8
09:15	78,8	82,0	61,4	62,6	2,9
10:15	80,4	82,7	56,4	57,4	3,6
11:15	81,1	83,8	52,7	53,1	3,6
12:15	80,9	83,1	52,2	50,8	3,4
13:15	80,2	82,9	49,0	52,0	3,5
14:15	80,8	83,8	64,4	66,3	3,0
15:15	81,0	82,4	54,2	53,6	2,6
16:15	81,1	81,6	50,6	53,1	3,5
Média	80,3	82,5	56,8	57,8	3,1

Quadro A15 Condição do tempo e classificação do vento nos horários de coleta para o dia 20 de março de 2003.

Horário	Dia: 20/3/2003	
08:15	Céu claro	Vento fraco
09:15	Céu claro	Vento fraco
10:15	Céu claro	Vento fraco
11:15	Céu claro	Vento fraco
12:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
13:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
14:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
15:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
16:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco

APÊNDICE B

Quadro B1 Valores de temperaturas de globo negro (Tg), bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu) nos módulos localizado à sombra e ao sol, na análise do flamboyant, referente ao dia 21 de janeiro de 2004.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Horário						
08:15	23,0	28,0	25,0	26,0	22,5	23,5
09:15	29,0	31,0	26,5	28,0	23,0	24,0
10:15	29,0	31,0	27,5	28,5	23,0	24,0
11:15	31,0	34,0	28,5	30,5	23,5	25,0
12:15	31,0	33,0	29,0	30,0	24,0	25,0
13:15	33,0	37,0	30,5	32,0	25,5	26,0
14:15	34,0	38,0	31,0	33,5	24,5	26,0
15:15	35,0	38,0	32,0	33,5	25,0	26,5
16:15	31,0	37,5	33,0	33,0	24,0	25,0
Média	30,7	34,2	29,2	30,6	23,9	25,0

Quadro B2 Valores calculados de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento, na análise do flamboyant referente ao dia 21 de janeiro de 2004.

Equipamentos	ITGU		U R (%)		Vel. do Vento (ms ⁻¹)
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
Horário					
08:15	73,4	77,7	80,0	80,5	3,1
09:15	78,0	80,2	73,5	70,9	4,3
10:15	78,0	80,2	67,2	67,9	4,8
11:15	79,8	83,1	64,7	63,0	6,5
12:15	80,2	82,4	65,0	65,7	5,6
13:15	82,7	86,0	66,0	61,1	5,5
14:15	82,7	86,7	57,5	54,0	5,2
15:15	83,8	87,0	55,4	56,7	5,3
16:15	80,2	85,6	45,7	50,9	4,8
Média	79,9	83,2	63,9	63,4	5,0

Quadro B3 Condição do tempo e classificação do vento nos horários de coleta para o dia 21 de janeiro de 2004.

Horário	Dia: 21/1/2004	
08:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
09:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
10:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
11:15	Céu parcialmente nublado	Vento moderado
12:15	Céu parcialmente nublado	Vento moderado
13:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
14:15	Céu claro	Vento fraco
15:15	Céu claro	Vento fraco
16:15	Céu claro	Vento fraco

Quadro B4 Valores de temperaturas de globo negro (Tg), bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu) nos módulos localizado à sombra e ao sol, na análise do flamboyant, referente ao dia 23 de janeiro de 2004.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Horário						
08:15	27,0	30,5	26,0	26,5	23,0	24,5
09:15	29,0	32,0	27,8	28,3	23,5	24,5
10:15	30,0	35,0	28,5	29,5	23,0	24,5
11:15	31,5	36,0	30,5	32,0	23,0	25,0
12:15	33,0	39,0	31,0	32,5	23,5	25,0
13:15	34,0	40,0	32,5	34,5	24,0	26,0
14:15	32,0	36,0	31,5	32,5	23,5	25,0
15:15	34,0	38,0	32,5	33,0	24,0	24,5
16:15	33,5	37,0	33,0	33,5	24,0	25,0
Média	31,6	35,9	30,4	31,4	23,5	24,9

Quadro B5 Valores calculados de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento, na análise do flamboyant referente ao dia 23 de janeiro de 2004.

Horário	ITGU		U R (%)		Vel. do Vento (ms ⁻¹)
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
08:15	76,6	80,2	76,8	84,4	2,4
09:15	78,4	81,3	68,8	72,4	5,3
10:15	78,8	83,4	61,5	65,4	5,1
11:15	79,8	84,5	51,3	55,4	5,2
12:15	81,3	86,7	51,8	53,1	6,4
13:15	82,4	88,1	47,8	49,7	5,6
14:15	80,6	84,5	49,5	53,1	5,8
15:15	82,4	85,6	47,8	48,3	6,2
16:15	82,0	85,2	45,7	48,8	6,1
Média	80,3	84,4	55,7	59,0	5,3

Quadro B6 Condição do tempo e classificação do vento nos horários de coleta para o dia 23 de janeiro de 2004.

Horário	Dia: 23/1/2004	
08:15	Céu claro	Vento fraco
09:15	Céu claro	Vento fraco
10:15	Céu claro	Vento fraco
11:15	Céu claro	Vento fraco
12:15	Céu parcialmente nublado	Vento moderado
13:15	Céu Nublado	Vento moderado
14:15	Céu claro	Vento moderado
15:15	Céu claro	Vento moderado
16:15	Céu claro	Vento moderado

Quadro B7 Valores de temperaturas de globo negro (Tg), bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu) nos módulos localizado à sombra e ao sol, na análise do flamboyant, referente ao dia 26 de janeiro de 2004.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Horário						
08:15	28,5	29,5	24,5	25,5	22,0	23,0
09:15	29,0	33,0	27,0	28,0	23,0	24,5
10:15	31,0	35,5	28,5	30,0	24,0	25,0
11:15	33,0	37,0	30,0	31,5	24,0	25,0
12:15	34,0	39,0	31,5	33,0	23,5	25,0
13:15	32,0	34,0	31,0	31,0	23,0	23,0
14:15	34,0	37,5	32,5	33,0	22,5	23,0
15:15	34,5	38,0	33,0	33,5	22,0	22,5
16:15	34,0	38,0	33,0	34,0	24,0	25,0
Média	32,2	35,7	30,1	31,1	23,1	24,0

Quadro B8 Valores calculados de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento, na análise do flamboyant referente ao dia 26 de janeiro de 2004.

Horário	ITGU		U R (%)		Vel.do Vento (ms ⁻¹)
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
08:15	77,0	78,4	79,8	80,3	2,2
09:15	78,0	82,0	70,2	74,3	2,4
10:15	80,2	84,2	67,9	65,7	3,6
11:15	81,6	85,2	59,5	57,8	4,0
12:15	82,0	86,7	49,5	50,9	3,9
13:15	80,2	81,6	49,0	49,0	3,5
14:15	81,3	84,2	40,1	40,7	4,0
15:15	81,3	84,2	35,9	36,5	5,1
16:15	82,4	86,0	45,7	46,7	7,2
Média	80,4	83,6	55,3	55,8	4,0

Quadro B9 Condição do tempo e classificação do vento nos horários de coleta para o dia 26 de janeiro de 2004.

Horário	Dia: 26/1/2004	
08:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
09:15	Céu claro	Vento fraco
10:15	Céu claro	Vento fraco
11:15	Céu claro	Vento fraco
12:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
13:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
14:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
15:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
16:15	Céu parcialmente nublado	Vento moderado

Quadro B10 Valores de temperaturas de globo negro (Tg), bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu) nos módulos localizado à sombra e ao sol, na análise do flamboyant, referente ao dia 27 de janeiro de 2004.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Horário						
08:15	28,0	30,0	25,0	25,5	22,5	23,0
09:15	29,0	33,0	27,5	28,5	23,5	24,0
10:15	32,0	36,0	29,5	31,5	24,0	24,5
11:15	33,0	39,0	31,5	35,0	24,0	24,5
12:15	35,0	41,0	32,0	33,5	24,5	25,0
13:15	36,0	41,0	33,0	34,0	24,0	24,5
14:15	34,0	38,0	32,0	33,0	24,0	24,5
15:15	36,0	41,0	33,5	36,0	24,5	25,0
16:15	33,5	39,0	33,5	34,0	24,0	24,5
Média	32,9	37,6	30,8	32,3	23,9	24,4

Quadro B11 Valores calculados de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento, na análise do flamboyant referente ao dia 27 de janeiro de 2004.

Horário	ITGU		U R (%)		Vel. do Vento(ms ⁻¹)
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
08:15	77,0	78,8	80,0	80,3	3,2
09:15	78,4	81,6	70,6	67,9	3,7
10:15	80,9	84,2	62,2	55,0	3,8
11:15	81,6	86,3	52,2	40,5	4,2
12:15	83,4	88,1	52,6	48,7	5,6
13:15	83,8	87,8	45,7	44,2	4,6
14:15	82,4	85,6	49,9	48,2	5,4
15:15	84,2	88,1	46,2	39,2	7,1
16:15	82,0	86,3	43,7	44,2	8,6
Média	81,5	85,2	55,9	52,0	5,1

Quadro B12 Condição do tempo e classificação do vento nos horários de coleta para o dia 27 de janeiro de 2004.

Horário	Dia: 27/1/2004	
08:15	Céu claro	Vento fraco
09:15	Céu claro	Vento fraco
10:15	Céu claro	Vento fraco
11:15	Céu claro	Vento fraco
12:15	Céu claro	Vento moderado
13:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
14:15	Céu parcialmente nublado	Vento fraco
15:15	Céu parcialmente nublado	Vento moderado
16:15	Céu claro	Vento fraco

Quadro B13 Valores de temperaturas de globo negro (Tg), bulbo seco (Ts) e bulbo úmido (Tu) nos módulos localizado à sombra e ao sol, na análise do flamboyant, referente ao dia 28 de janeiro de 2004.

Equipamentos	Tg (°C)		Ts (°C)		Tu (°C)	
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	Sombra	Sol
Horário						
08:15	28,5	29,0	25,5	26,5	22,7	23,5
09:15	31,0	32,0	28,0	30,0	23,5	24,5
10:15	34,5	36,0	30,5	32,0	24,0	25,5
11:15	35,0	37,0	33,0	33,5	24,5	26,0
12:15	35,0	36,0	33,0	35,0	24,0	26,0
13:15	37,0	39,0	34,0	36,0	24,5	25,5
14:15	37,5	39,0	34,5	35,0	24,0	25,0
15:15	39,0	40,0	35,5	37,0	24,0	25,0
16:15	38,5	40,0	36,0	37,5	24,5	26,0
Média	35,1	36,4	32,2	33,6	24,0	25,2

Quadro B14 Valores calculados de índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento, na análise do flamboyant referente ao dia 28 de janeiro de 2004.

	ITGU		U R (%)		Vel. do Vento (ms ⁻¹)
	Sombra	Sol	Sombra	Sol	
Horário					
08:15	77,5	78,4	78,0	77,0	3,1
09:15	79,8	81,3	67,5	62,6	5,3
10:15	82,7	84,9	57,0	58,2	6,4
11:15	83,4	86,0	48,2	53,9	7,3
12:15	83,1	85,2	45,7	47,6	6,8
13:15	84,9	87,0	44,2	41,5	8,2
14:15	84,9	86,7	39,9	42,8	6,8
15:15	86,0	87,4	36,5	35,9	6,7
16:15	86,0	88,1	37,0	38,5	6,8
Média	83,1	85,0	50,4	50,9	6,4

Quadro B15 Condição do tempo e classificação do vento nos horários de coleta para o dia 28 de janeiro de 2004.

Horário	Dia: 28/1/2004	
08:15	Céu claro	Vento fraco
09:15	Céu claro	Vento fraco
10:15	Céu claro	Vento moderado
11:15	Céu claro	Vento moderado
12:15	Céu claro	Vento moderado
13:15	Céu claro	Vento moderado
14:15	Céu claro	Vento moderado
15:15	Céu claro	Vento moderado
16:15	Céu claro	Vento moderado